

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "МЭИ"
АКАДЕМИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
АССОЦИАЦИЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ ОТДЕЛОВ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ (АМО)
РОССИЙСКО-КИРГИЗСКИЙ КОНСОРЦИУМ ТЕХНИЧЕСКИХ
УНИВЕРСИТЕТОВ
РОССИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ СИГРЭ

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА

ДВАДЦАТЬ ЧЕТВЕРТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

15–16 марта 2018 г.

МОСКВА

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



МОСКВА

НИУ МЭИ

2018

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА:
P 154 Двадцать четвертая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (15–16 марта 2018 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2018. — 1120 с.

ISBN 978-5-905486-08-1

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

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

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

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Роголёв Н.Д. — ректор, председатель Оргкомитета

В.К. Драгунов — проректор по научной работе, сопредседатель
Т.А. Степанова — проректор по учебной работе, сопредседатель
Р.Р. Насыров — доцент кафедры ЭЭС, ответственный секретарь, сопредседатель
С.А. Цырук — помощник проректора по научной работе
А.Е. Тарасов — начальник отдела международных связей
С.А. Грузков — директор ИЭТ
И.Н. Мирошникова — директор ИРЭ
А.В. Дедов — директор ИТАЭ
В.Н. Тульский — директор ИЭЭ
В.П. Лунин — директор АВТИ
С.А. Серков — директор ЭнМИ
С.В. Захаров — директор ИПЭЭф
А.Ю. Невский — директор ИнЭИ
А.С. Федулов — директор филиала МЭИ в г. Смоленске
М.М. Султанов — директор филиала МЭИ в г. Волжский
С.А. Абдулкеримов — директор филиала МЭИ в г. Душанбе
Н.И. Файрушин — директор Энергетического колледжа (филиал МЭИ) в г. Конаково

ISBN 978-5-905486-08-1



9 785905 486081

© Авторы, 2018

© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2018

Направление

РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Научный руководитель направления —
директор ИРЭ, д.т.н.,
профессор И.Н. Мирошникова

Секция 1

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОТЕХНИКИ

Председатель секции — д. т. н., профессор В. Г. Карташев

Секретарь секции — к. т. н., доцент Е. В. Шалимова

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

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МОДИФИКАЦИЙ МЕТОДА ЭФФЕКТИВНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПРИ АНАЛИЗЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СВЯЗИ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ РАЗНЫХ ФОРМАТОВ

При теоретическом исследовании распределенной связи диэлектрических волноводов возникает вопрос об описании структуры электромагнитного поля мод волновода, а также фазовых скоростей этих мод. Как известно, точного аналитического описания мод для большинства форм диэлектрических волноводов не существует. Поэтому большое значение приобретают приближительные аналитические методы, имеющие меньшую вычислительную сложность, чем численные, и обладающие хорошей точностью. В частности к таким методам относится метод эффективной диэлектрической проницаемости (ЭДП).

Обычный метод ЭДП состоит в представлении моды прямоугольного диэлектрического волновода как переотраженной от боковых сторон моды планарного волновода. При этом за толщину базового планарного волновода берется меньшая сторона прямоугольного диэлектрического волновода, что позволяет уменьшить ошибку расчета, связанную с дифракцией волны на боковых гранях. Тогда, зная фазовую скорость в базовом планарном волноводе, можно ввести эффективную среду для волновода, ортогонального базовому. Подробнее с методикой расчета для прямоугольного волновода можно ознакомиться в [1].

Помимо обычного метода ЭДП существуют его многочисленные модификации, описанные в различных работах. В данной работе проведено подробное сравнение обычного, модифицированного, модифицированного альтернативного, итеративного и обобщенного методов ЭДП с результатами численного и экспериментального анализа. Показано, что по критерию минимума ошибки замедленный мод, по крайней мере для одномодовых и широкоформатных многомодовых прямоугольных волноводов, модифицированный метод ЭДП имеет наименьшее отклонение от численного результата (который можно получить исходя из методик в [2]) и хорошее сходство с экспериментальными результатами.

Литература

1. **Адамс М.** Введение в теорию оптических волноводов. — Рипол Классик, 1984.
2. **Zhang K., Li D.** Electromagnetic theory for microwaves and optoelectronics. — Springer Science & Business Media, 2013.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ ПОЛУЭКРАНИРОВАННОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА

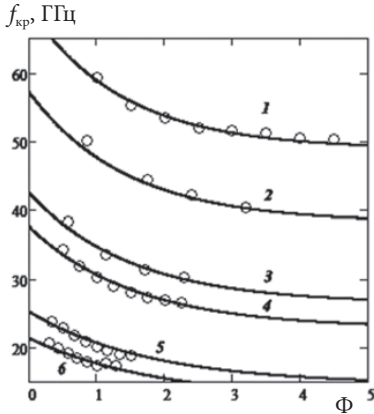


Рис. 1. Один из вариантов аппроксимации зависимости $f_{кр}(\Phi)$:
 1 — $a=1$ мм; 2 — $a=1.25$ мм;
 3 — $a=1.75$ мм; 4 — $a=2$ мм;
 5 — $a=3$ мм; 6 — $a=3.5$ мм

3% в диапазоне частот от 10 до 75 ГГц для волноводов с параметрами, удовлетворяющими заданному диапазону частот.

Цель работы — исследование зависимости критической частоты полуэкранированного диэлектрического волновода от формата, диэлектрической проницаемости и расстояния между пластинами. В работах [1, 2] были предложены методики расчетов параметров волноводов, но были обнаружены систематические погрешности, выявленные и устраненные в эксперименте.

В результате компьютерного исследования были получены семейства зависимостей (рис. 1) критической частоты от формата при постоянных расстояниях между пластинами для относительной диэлектрической проницаемости $\epsilon = 2.25$; 4; 6; 10. В результате работы была получена формула, связывающая вышеуказанные параметры. Точность аппроксимации составляет

Литература

1. Гурьянов А. Ю., Крутских В. В. Инженерный расчет и оптимизация параметров полуэкранированного диэлектрического волновода в неизлучающем режиме // Вестник МЭИ. — 2017. — № 1.
2. Гутцайт Э. М. Типы волн в Н-образном металлодиэлектрическом волноводе // Радиотехника и электроника. — 1962. — Т. 7, № 2. — С. 310–314.

*А. С. Фадин, Э. И. Трунов, аспиранты;
рук. В. Г. Карташев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ВЫБОР ШАГА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО РАЗДЕЛЬНО-СОВМЕЩЕННОГО ДАТЧИКА ПРИ ТОЛЩИНОМЕТРИИ МЕТАЛЛОВ С НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРОЙ

При ультразвуковой (УЗ) дефектоскопии объектов из неоднородных материалов эхо-методом часто используются раздельно-совмещенные (РС) преобразователи, состоящие из одного излучающего и одного приемного преобразователей.

Основной помехой при зондировании неоднородных материалов является структурный шум (СШ), возникающий в результате отражения зондирующего сигнала от многочисленных неоднородностей объекта. Интенсивность СШ часто бывает так велика, что полезный сигнал, отраженный от дефектов или задней границы изделия, неразличим на его фоне. В этих случаях используют многократное зондирование объекта из разных позиций с последующим суммированием (накоплением) принятых сигналов [1]. При этом возникает вопрос о необходимом числе зондирований и выборе шага перемещения РС-преобразователя по поверхности изделия. Обычно площадь поверхности изделия, доступная для зондирования, ограничена. Поэтому количество зондирований N и шаг перемещения датчика d взаимосвязаны [2].

Оптимальный шаг РС-преобразователя выбирают исходя из взаимно корреляционных характеристик реализаций СШ для различного шага перемещения. Проведен теоретический расчет оптимального шага перемещения с учетом формы апертуры, диаграммы направленности РС-преобразователя, ширины спектра принимаемого сигнала. Теоретический расчет подтвержден экспериментом с использованием производственного датчика фирмы «АКС». В результате эксперимента было выбрано количество положений N для конкретного шага перемещения d РС-преобразователя при следующих входных данных: рабочая частота, апертура РС-датчика, скорость УЗ-волны.

Литература

1. Качанов В. К., Карташев В. Г., Соколов И. В. Ультразвуковая помехоустойчивая дефектоскопия. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. Карташев. В. Г., Фадин А. С., Али Зайд Салех Салем. Оптимизация шага перемещения датчика при ультразвуковой толщинометрии объектов из материалов с неоднородной структурой // Вестник МЭИ. — 2016. — № 4. С. 129–134.

А. А. Кальщиков, аспирант (НИУ «МЭИ»)

СИНТЕЗ УСТОЙЧИВЫХ ДИСПЕРСИОННЫХ ФИЛЬТРОВ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА

При распространении сигналов в диспергирующих средах (ДС) возникают искажения, которые ухудшают качественные характеристики канала связи. Для электромагнитных волн примерами таких сред могут служить волноводные структуры, среды со свободными зарядами (например, плазма) и т. п.

Эффективным методом моделирования ДС является метод длинных линий. Модель длинной линии (ДЛ) для ДС изображена на рис. 1. Ослабляющий фильтр $A(z)$, моделирующий ослабление в ДЛ, обычно имеет низкий порядок и не представляет трудности для синтеза. Дисперсионный фильтр (ДФ) $D(z)$, напротив, является фильтром высокого порядка, задача которого задерживать различные гармоники сигнала на время, согласно частотной зависимости групповой задержки (ЧГЗ) ДЛ.

Существует несколько методов решения проблемы синтеза ДФ $D(z)$ по заданной ЧГЗ. Наиболее развитые: вычисление нулей и полюсов операторного коэффициента передачи с помощью преобразования Гильберта [1] и минимизация квадрата фазовой ошибки ЧГЗ [2]. Однако основными проблемами такого синтеза являются высокая вычислительная сложность, а также погрешность численных методов решения систем уравнений.

В настоящее время синтез ДФ наиболее рационально реализован на основе каскадной схемы включения фазовых фильтров первого порядка, коэффициенты которых вычисляются с помощью факторизации ЧГЗ [3], однако парциальные добротности каждого фильтра положены одинаковыми.

В работе предложено усовершенствование метода [3] на случай определения оптимальных парциальных добротностей фазовых фильтров по критерию минимума квадрата фазовой ошибки ЧГЗ.

Предложенный метод синтеза ДФ численно простой, быстрее аналогов [1, 2] и хорошо подходит для моделирования прохождения сигналов через ДС, а также для эквализации каналов связи, коррекции ФЧХ канала и т. д.

Предложенный метод синтеза ДФ численно простой, быстрее аналогов [1, 2] и хорошо подходит для моделирования прохождения сигналов через ДС, а также для эквализации каналов связи, коррекции ФЧХ канала и т. д.

Литература

1. Reddy G. R., Swamy M. N. S. Digital all-pass filter design through discrete Hilbert transform // IEEE Int. Conf. Acoustic, Sig. Proc. — Albuquerque, USA, 1998.
2. Lang M., Laasko T. I. Simple and robust method for the design of all-pass filters using least-squares phase error criterion // Circuits and Systems. — 1994. — Vol. 41, No. 1.
3. Abel J. S., Smith J. O. Robust design of very high-order all-pass dispersion filters // Int. Conf on Digital Audio Effects (DAFx-06). — Canada, 2006.

А. Е. Пужонков, студент; рук. В. С. Фланден, асс. (НИУ «МЭИ»)

КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКТИРОВКИ АЧХ

Все акустические системы (АС) даже в рамках одной модели имеют различную АЧХ. В двух разных помещениях одна и та же АС будет восприниматься по-разному, а слух каждого человека весьма индивидуален. К тому же с 1933 г. известна проблема нелинейного восприятия звука человеком. Это связано со строением человеческого уха, которое в процессе эволюции стало представлять из себя частотно-избирательный фильтр, работающий тем хуже, чем выше громкость входного сигнала.

Описанные выше проблемы обычно решают с помощью звуковоспроизводящей и звукоусилительной аппаратуры высокого класса (которая, как правило, имеет режим тонокомпенсации, см. рис. 1) и акустической подготовки помещения. Эти методы весьма дорогостоящи и подходят к решению проблемы односторонне.

Исследование заключается в написании программы (комплекса), корректирующей АЧХ:

- в зависимости от звуковоспроизводящей системы в целом и помещения (используется измерительный микрофон);
- в зависимости от слуха отдельно взятого человека (воспроизводится тест Флетчера–Мэнсона для определения кривых равной громкости).

Также определяются необходимые для правильной работы программы условия и класс устройств, с которыми программа сможет работать.

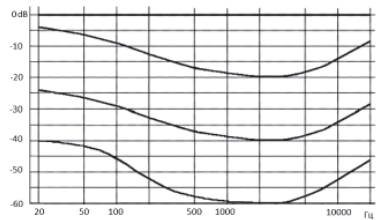


Рис. 1. Иллюстрация к режиму тонокомпенсации

Литература

1. **Сюзев В. В.** Основы теории цифровой обработки сигналов: Учебное пособие. — М.: РТСофт, 2014.
2. **Вологдин Э. И.** Методы и алгоритмы обработки звуковых сигналов. — СПб., 2012.
3. **Fletcher H., Munson W. A.** Loudness, Its Definition, Measurement and Calculation // J. Acoustic. Society America. — 1933. — Vol. 5. — P. 82.

*В. А. Щербаков, С. Ю. Солдатов студенты;
рук. С. В. Владимиров к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

БЕСКОНТАКТНЫЙ ИНТЕРФЕРЕЦИОННЫЙ ВИБРОМЕТР

Современные технологии требуют непрерывного контроля над многими параметрами технологического процесса и контроля состояния оборудования. В частности важнейшими являются параметры механического движения: параметры периодических перемещений исследуемого объекта в пространстве (вибрации). Этими параметрами являются виброперемещение (амплитуда вибрации) и виброскорость (частота вибрации).

Актуальность данной работы состоит в исследовании движения материальных объектов и взаимодействия между ними по параметрам вибрации, возникающей, например, при механической обработке металлов, перемешивании сыпучих материалов, динамическом воздействии на мостовые пролеты и т. д. [1].

В данной работе решалась задача об оценке бесконтактным методом периодических и аperiodических механических колебаний металлических объектов с амплитудами, превышающими длину волны, в режиме реального времени.

В ходе исследования был разработан и реализован прототип бесконтактного интерференционного виброметра, построенного на основе генератора на диоде Гаана с рабочей длиной волны 28.64 мм [2]. Также в среде MathLab было разработано ПО для восстановления и обработки полученной информации.

Результаты измерений колебаний металлического листа на расстоянии 200 мм изображен на рис. 1. Подробные результаты исследований, а также описание работы виброметра приведены в докладе.

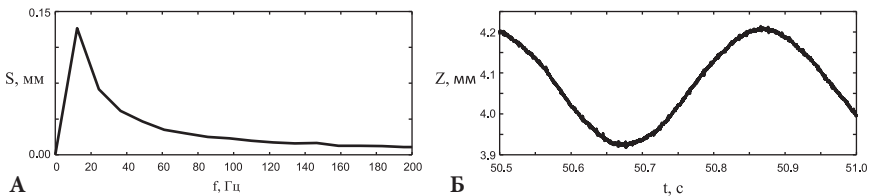


Рис. 1. Результаты измерений: А — спектр механических колебаний; Б — график линейного перемещения

Литература

1. **Зрюмов П. А., Селезнева Ю. В.** Аналитический обзор методов измерения вибрации // Ползуновский альманах. — 2014. — № 1. — С. 185–187.
2. **Саонов М. Д.** Антенны и устройства СВЧ. — 1988.

*В. А. Щербаков студент;
рук. С. В. Владимиров к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МИНИАТЮРНЫЙ СВЧ-ФИЛЬТР СО СВЕРХШИРОКОЙ ПОЛОСОЙ ЗАПИРАНИЯ

Развитие современных радиотехнических систем и устройств, работающих в сверхвысокочастотном (СВЧ) диапазоне частот, а также повышение степени их интеграции, привело к повышению требований к характеристикам отдельных составляющих системы, в том числе к основным компонентам СВЧ-аппаратуры — СВЧ-фильтрам. При проектировании микроволновых СВЧ-устройств нужно принимать во внимание многие факторы: малые габариты и вес, низкие вносимые потери в полосе, высокая селективность, низкие возвратные потери и т. д.

Наиболее технологически и экономически выгодным вариантом уменьшения габаритов полосового фильтра является использование планарной микрополосковой технологии. Как известно, из всего многообразия топологий фильтров, наиболее компактна встречно стержневая [1]. Однако на частотах порядка 1 ГГц даже на подложках с высокой диэлектрической проницаемостью порядка 80–100 данная топология, в классическом представлении, обладает неприемлемо большими габаритами [2]. Тем не менее на выбранной топологии за счет организации связей между резонаторами особым образом можно реализовать фильтр со сверхширокой полосой заграждения, размеры которого будут в несколько раз меньше длины основной волны. На рис. 1 изображена 3D-модель фильтра 15-го порядка на поликорковой подложке размером 14×12 мм. На рис. 2 приведена рассчитанная АЧХ этого фильтра.

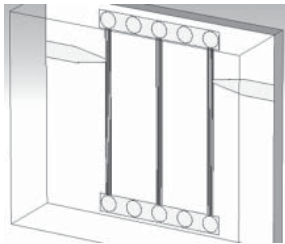


Рис. 1. 3D-модель фильтра

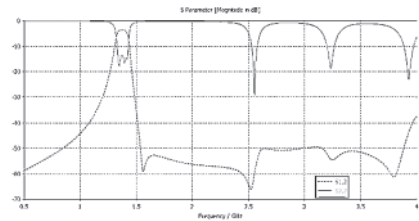


Рис. 2. Результаты моделирования в САПР CST MS

Литература

1. Маттей Г. Л., Янг Л., Джонс Е. М. Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. — 1971. — Т. 1.
2. Маттей Г. Л., Янг Л., Джонс Е. М. Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. — 1971. — Т. 2.

Е. С. Сулимский, асп.; рук. В. В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФОРМИРОВАТЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ МИЛЛИМЕТРОВЫХ СИСТЕМ РАДИОЧАСТОТНОГО ВИДЕНИЯ

В настоящее время спецслужбы проявляют огромный интерес к радиочастотным системам видения в миллиметровом диапазоне длин волн для получения информации об объектах в оптически непрозрачных средах. Это связано с тем, что оружие и боеприпасы научились изготавливать не только из металла, но и из различных видов керамики и пластика [1].

Одной из проблем систем радиовидения миллиметрового диапазона, обрабатывающих сигналы от объектов, является эффективное освещение объекта [2]. Известная форма амплитудно-фазового распределения (АФР) в плоскости исследуемого объекта необходима для последующей обработки и распознавания [3].

Для решения этой задачи целесообразно использовать диэлектрические и металлодиэлектрические структуры. Это существенно улучшит характеристики облучателей с точки зрения тепловых потерь.

Проведены исследования различных конструкций электромагнитных облучателей на базе диэлектрических и металлодиэлектрических волноводов. С помощью современных САПР и физических макетов проведено моделирование устройств и разработаны рекомендации к их производству.

Результаты выполненной работы позволяют сформировать рекомендации к изготовлению облучателей с заданной АФР и повысить КПД системы облучателей в миллиметровом диапазоне длин волн.

Литература

1. Сулимский Е. С., Строев Н. Н. Организация исследовательского комплекса с использованием матричной камеры субтерагерцового диапазона [Электронный ресурс] // Математическая морфология. — 2014. — Т. 13, Вып. 4; режим доступа URL: <http://sgma.alpha-design.ru/MMORPH/N-44-html/stroev/stroev.htm>.
2. Сулимский Е. С., Строев Н. Н., Астахов С. П. Особенности программного обеспечения исследовательского комплекса с использованием матричной камеры субтерагерцового диапазона [Электронный ресурс] // Математическая морфология. — 2014. — Т. 13, Вып. 4; режим доступа URL: <http://www.smolensk.ru/user/sgma/MMORPH/N-44-html/cont.htm>.
3. Сулимский Е. С., Строев Н. Н. Исследование средств мультикадрового представления для применения в системах радиовидения субтерагерцового диапазона // Вестник Югорского государственного университета. — 2016. — Т. 41, Вып. 2. — С. 17–20.

*Э. И. Трунов, А. С. Фадин, аспиранты;
рук. В. Г. Карташев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В МЕТАЛЛАХ ПОСРЕДСТВОМ АНАЛИЗА ДИСПЕРСИИ СТРУКТУРНОГО ШУМА

Метод измерения коэффициента затухания ультразвуковой (УЗ) волны в неоднородных материалах посредством анализа структурного шума (СШ) был впервые предложен в работе [1]. Метод основан на том, что скорость убывания дисперсии СШ связана с коэффициентом затухания УЗ-волны в среде: чем больше коэффициент затухания УЗ-волны, тем быстрее убывает дисперсия СШ. Соответственно, анализируя характер убывания дисперсии СШ, можно определить коэффициент затухания УЗ-волны в среде.

В работах [2, 3] данный метод был применен для диагностики бетона — среды с аномально высоким затуханием ультразвука. В настоящей работе этот метод модернизирован для диагностики металлов, где коэффициент затухания УЗ-волн значительно меньше, чем в бетоне. Для проверки работоспособности модернизированного метода был проведен эксперимент с образцами из меди с разными размерами кристаллов. На каждом образце было снято >10 осциллограмм СШ.

В результате проведенных экспериментов установлена взаимосвязь между коэффициентом затухания УЗ-волны и средним размером кристаллов. Для подтверждения полученных результатов измерение коэффициента затухания УЗ-волны также проводили при помощи классического теневого метода.

В ходе исследований было установлено, что с увеличением среднего размера зерна в медных образцах растет коэффициент затухания и увеличивается скорость распространения УЗ-волны.

Литература

1. **Карташев В. Г.** Измерение коэффициента ослабления ультразвука в материале с неоднородной структурой при одностороннем доступе // Вестник МЭИ. — 2013. — № 4. — С. 110–114.
2. **Карташев В. Г., Фадин А. С., Трунов Э. И., Али Зайд Салех Салем.** Определение коэффициента погонного затухания ультразвуковой волны в неоднородном материале посредством обработки реализаций структурного шума // Вестник МЭИ. — 2017. — № 4. — С. 146–155.
3. **Трунов Э. И., Карташев В. Г.** Разработка метода измерения коэффициента затухания ультразвуковых волн в неоднородной среде посредством анализа структурного шума // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: 23-я Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тезисы докладов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2017. — Т. 1. — С. 19.

Секция 2

ФОРМИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ И СИГНАЛОВ

Председатель секции — д.т.н., профессор Н.Н. Удалов

Секретарь секции — аспирант А.А. Митрофанов

А. А. Арсланов, студент; рук. А. Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СВЧ-КОЛЕБАНИЙ НА ОСНОВЕ СПИН-ТРАНСФЕРНЫХ НАНООСЦИЛЛЯТОРОВ

Спин-трансферные наноосцилляторы (СТНО) активно исследуются в настоящее время в силу различных приложений для магнитной записи информации, генерирования и детектирования СВЧ-сигналов [1, 2]. Главным недостатком, ограничивающим применение СТНО в качестве генераторов, управляемых напряжением, является низкая выходная мощность (в лучшем случае порядка единиц микроватт). Новым применением, использующим свойство широкой перестройки частоты СТНО током (несколько десятков гигагерц), является спектральный анализ СВЧ-сигналов [3].

В данной работе исследовалась схема спектроанализатора на базе СТНО. На вход спектроанализатора подавалась сумма анализируемого СВЧ-сигнала и медленно нарастающего по сравнению с периодом колебаний высокой частоты пилообразного сигнала. Предварительно были проведены исследования реакций линейного фильтра и трехточечного автогенератора на разные типы внешних воздействий (гармоническое, линейно-нарастающее со временем). В результате пилообразного нарастания тока при некотором критическом значении наблюдается эффект фазовой синхронизации, при котором частота колебаний анализируемого сигнала совпадает с частотой СТНО. В проделанных опытах изучались резонансные свойства, гистерезисные явления, полоса синхронизма. В выходной схеме осуществлялось сравнение частот двух сигналов (анализируемого и СТНО) и при их равенстве записывалось постоянное значение напряжения. Задачей работы являлся расчет разрешающей способности такого спектроанализатора и скорости сканирования. Недостатком этой схемы является использование специального блока обработки, сравнивающего две частоты. Поэтому в данной работе предлагается схема спектроанализатора, выполненного на основе схемы фазовой автоподстройки частоты [2], где в качестве постоянного детектируемого сигнала используется сигнал с выхода фазового детектора, при этом в данном решении стабильность от опорного генератора навязывалась на СТНО.

Работа выполнена при финансовой поддержке базовой части госзадания РФ № 8.8109.2017/БЧ.

Литература

1. **Сафин А. Р., Удалов Н. Н., Бичурин М. И., Петров Р. В., Татаренко А. С.** Нагрузочные характеристики спин-трансферного наноосциллятора // Письма в ЖТФ. — 2017. — Т. 43, Вып. 6. — С. 56–63.
2. **Mitrofanov A. A., Safin A. R., Udalov N. N., Kapranov M. V.** Theory of spin-torque nano-oscillator-based phase-locked loop // J. Appl. Physics. — 2017. — Vol. 122. — P. 123903.
3. **Louis S., et al.** Low power microwave signal detection with a spin-torque nano-oscillator in the active self-oscillating regime // IEEE Trans. Magn. — 2017. — Vol. 53, No. 11. — P. 1–5.

*А. А. Бобурков, студент; рук. Л. А. Белов, к.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ», Москва)*

ПЕРЕКРЕСТНЫЕ ПОМЕХИ В ИСТОЧНИКЕ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ БОРТОВОЙ СПУТНИКОВОЙ АППАРАТУРЫ

Надежное и безотказное функционирование спутниковой аппаратуры во многом зависит от качественных показателей системы вторичного бортового электропитания. Разработка таких систем для условий космической окружающей среды является актуальной задачей [1].

Цель работы состоит в изучении особенностей функционирования источника вторичного электропитания (ИВЭП) с системой стабилизации за счет широтно-импульсной модуляции (далее ШИМ) в условиях действия специфических для такого применения помех и воздействий.

В развитие работы [2] отлажена схема модели в среде MicroCAP-10 с преобразованием постоянного напряжения бортовой сети 100 В в несколько выходных цепей низкого напряжения с суммарной мощностью до 30 Вт.

Основным (силовым) выходом схемы считается узел 12, а вспомогательным — узел 16. Основной выход схемы связан цепью обратной связи с ШИМ модулятором, что позволяет контролировать выходную мощность в основной и вспомогательной выходных цепях и предохранять ИВЭП от перегрузок по току.

Для исследования вопроса о получении высококачественного выходного сигнала при вариации нагрузки [3] проведено моделирование работы схемы (рис. 1).

Измеряли параметры вспомогательной выходной цепи при вариациях нагрузки основной цепи и в нештатных ситуациях (появление холостого хода или корот-

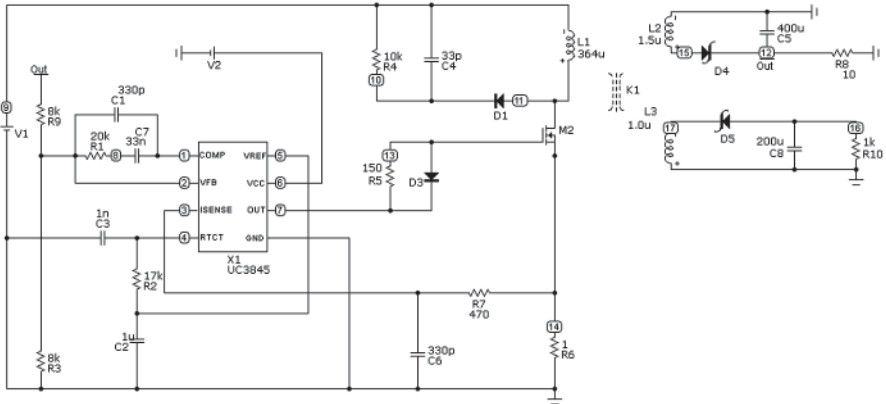


Рис. 1. Принципиальная схема источника вторичного электропитания с двумя выходными цепями

кого замыкания). Выявлено влияние возникновения таких режимов как на работу схемы в целом, так и на работу второй выходной обмотки.

Сформулированы рекомендации для устранения негативных последствий таких режимов работы ИВЭП и выполнено наглядное моделирование функционирования схемы.

Перекрестные помехи вызываются изменением тока нагрузки в узле 16, относительно номинального значения. Оценивается влияние такого изменения на ток нагрузки в узле 12 и на время установления переходного процесса, относительно номинальных значений при штатных условиях. Рассмотрено влияние изменения нагрузки в узле 12 на выходные параметры узла 16 при разных значениях соотношения мощностей в основной и вспомогательной цепях.

Моделирование показало, что благодаря наличию обратной связи основного выхода схемы с ШИМ модулятором, изменение нагрузки вторичного выхода слабо влияет на параметры первичного выхода, что позволяет сказать о высокой степени защищенности основного выхода ИВЭП от перекрестных помех и нештатных ситуаций.

Полученные результаты могут быть использованы при построении ИВЭП для бортовой спутниковой аппаратуры.

Литература

1. **Мэк Р.** Импульсные источники питания: теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению / Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. — 272 с.
2. **Владыкин А. М.** Источник вторичного электропитания для бортового спутникового усилителя мощности: Выпускная бакалаврская работа. — НИУ МЭИ, кафедра ФОРС, 2016.
3. **Бобурков А. А.** Источник вторичного электропитания для бортовой спутниковой аппаратуры // Тезисы докладов XXIII МНТК студентов и аспирантов. — 2–3 марта 2017 г. — М.: Издательский дом МЭИ. — Т. 1. — С. 24.

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

МИНИМИЗАЦИЯ ПИК-ФАКТОРА СИГНАЛОВ С АДДИТИВНОЙ ФРАКТАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ

Многочастотные радиосигналы используются для широкополосной беспроводной передачи информации с повышенной спектральной эффективностью и/или высокой защищенностью от обнаружения факта передачи. Находят применение, в частности, сигналы с ортогональным частотным разделением [1], перспективны для создания линий скрытной связи сигналы с аддитивной фрактальной структурой (САФС) [2]. Увеличенное значение отношения пиковой мощности к ее среднему значению (пик-фактор мощности), характерное, в частности, для САФС, ограничивает реализуемые значения энергетической эффективности радиопередающего устройства и демаскирует факт передачи информации на фоне шума.

Цель работы — анализ возможностей снижения пик-фактора мощности для САФС при заданных требованиях к качеству приема информации.

По результатам расчетов значений пик-фактора САФС с различным распределением начальных фаз частотных компонент предложен способ снижения пик-фактора с минимальными потерями в качестве приема. Для этого подбирается сигнал-аналог с нелинейной (показательной) частотной модуляцией, в котором значения минимальной и максимальной частоты такие же, как у фрактального сигнала. Затем вычисляется фазовый спектр сигнала с нелинейной ЧМ. Для снижения уровня пик-фактора выходного САФС, значения начальных фаз частотных компонент принимаются близкими к отсчетам фазового спектра Фурье на частотах САФС.

В работе показаны результаты расчета пик-фактора сигналов с видоизмененным таким образом массивом начальных фаз частотных компонент, а также показатели помехоустойчивости системы передачи информации с фазовой манипуляцией при помощи такого сигнала. Показано, что удается значительно снизить значение пик-фактора САФС при незначительных потерях в качестве приема информации.

Описанный алгоритм минимизации пик-фактора предназначен для применения в системе радиосвязи с увеличенной стеганостойкостью.

Литература

1. **Арслан Х., Чен Чж.Н., Бенедетто М.** Сверхширокополосная беспроводная связь. — М.: Техносфера, 2012.
2. **Белов Л.А., Хандурин А.В., Чеченя С.А.** Система беспроводной связи с малой радиозаметностью и высокой стеганостойкостью // Вестник МЭИ. — 2015. — № 2. — С. 87–91.

Д. А. Фролов, асп.; рук. Д. П. Царапкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

К АНАЛИЗУ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРНОГО АВТОГЕНЕРАТОРА С ДВУМЯ СИНХРОННЫМИ МОДАМИ

Традиционные методы стабилизации частоты автоколебаний используют два основных подхода: улучшение стабильности реактивных параметров схемы автогенератора, включая активный прибор (АП), и повышение добротности колебательной системы. Однако возможен другой путь, основанный на явлении взаимной синхронизации колебаний в бигармоническом автогенераторе (БАГ) с кратными частотами [1, 2].

В синхронном режиме БАГ $f_2 = n f_1$ [1]. В предлагаемой работе изучается влияние инерционных свойств АП, представленного СВЧ транзистором типа *BFP650* [3], на параметры сигналов основной генерируемой частоты f_1 и выбранной n -ой гармоники f_2 .

В качестве частного примера на рис. 1 представлены в предположении моногармонического возбуждения зависимости амплитуд и фаз первой и второй гармоник импульсов тока коллектора от напряжения смещения E_c для значений основной генерируемой частоты $f_1 = 1, 10, 20$ ГГц при фиксированной амплитуде тока коллектора 100 мА.

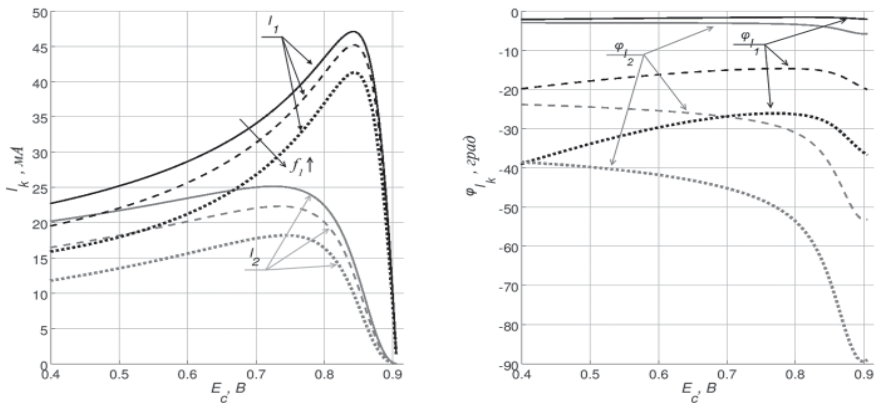


Рис. 1. Результаты моделирования в САПР ADS

Полученные в работе данные позволяют поставить и решить задачу оптимизации параметров БАГ типа [2].

Литература

1. Уткин Г. М. Автоколебательные системы и волновые усилители. — М.: Сов. радио, 1978. — 272 с.
2. Tsarapkin D. P., Chichvarin M. I., Isakov I. A. Experimental verification of compensation phenomena in oscillators with two multiple modes // IEEE/EIA IFCS., 7–9 June 2000, Kansas City, MO, U.S.A. P. 463–470.
3. [Электронный ресурс] URL: <https://www.infineon.com/>

О. С. Каткова, студент; рук. А. Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КРОСС-ЧАСТОТНАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ В НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ СВЯЗАННЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

Одним из широко встречающихся методов построения искусственных нейронных сетей является осцилляторный [1]. Такие сети наиболее приближены к мозговым, при этом их основными структурными единицами являются осцилляторы. Перспективны искусственные нейронные осцилляторы, выполненные на основе спинтроники [2], так называемые спин-трансферные наноосцилляторы (СТНО). Объединение в нейронную сеть при этом может осуществляться за счет разных механизмов связи. Базовым механизмом связи на данный момент является магнетодипольная и спин-волновая типы связи, при которых взаимодействие между СТНО осуществляется за счет локальных сил. Важным условием работы осцилляторной нейронной сети является способность к синхронизации ансамблей нейронов [3] как на одной частоте, так и на различных дробно-кратных частотах (кросс-частотах). Поэтому чрезвычайно важной и актуальной является задача исследования кросс-частотной синхронизации ансамблей СТНО с различной топологией.

В данной работе исследовали иерархические ансамбли взаимосвязанных СТНО на предмет кросс-частотной синхронизации нескольких базовых ритмов. Проводили переход от исходных уравнений для магнитной динамики намагниченностей к нормальным координатам и далее записывали укороченные уравнения для различных нормальных частот. В качестве иерархических сетей были выбраны древовидные сети с количеством ветвей 2 и 3.

Проведенные исследования дают возможность определить параметры СТНО (величину магнитного поля, рабочих токов), при которых достигается режим фазовой синхронизации нейронов на кросс-частотах.

Работа выполнена при финансовой поддержке базовой части госзадания РФ № 8.8109.2017/БЧ.

Литература

1. **Борисюк Г.Н., Борисюк Р.М., Казанович Я.Б., Лузянина Т.Б., Турова Т.С., Цымбалюк Г.С.** Осцилляторные нейронные сети. Математические результаты и приложения // Математическое моделирование. — 1992. — Т. 4, № 1. — С. 3–43.
2. **Locatelli N., Cros V., Grollier J.** Spin-torque building blocks // Nat. Mat. — 2014. — N 13 — P. 11–20.
3. **Dressler F., Akan O.** A Survey on Bio-Inspired Networking // Comp. Net. — 2010. — Vol. 54. — P. 881–900.

А. В. Костяев, студ.; рук. Н. Н. Удалов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИНТЕЗАТОРОВ ЧАСТОТ С ФАПЧ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ ADIsimPLL

В настоящее время синтезаторы частот с системой фазовой автоподстройки частоты находят широкое применение в радиотехнике. Основные задачи, которые решаются при проектировании синтезаторов с ФАПЧ, — это снижение уровня фазовых шумов устройства, повышение стабильности синтезируемых частот, уменьшение времени перестройки синтезатора в заданном частотном диапазоне.

В данной работе рассматриваются синтезаторы частот на основе кольца ФАПЧ с двумя видами фильтров нижних частот. При помощи программной среды ADIsimPLL [1] проанализированы величины уровней фазовых шумов синтезатора, время переключения синтезатора частот в частотном диапазоне. Исследовано влияние изменения параметров синтезатора на частотные и временные характеристики, например, получена зависимость нормированного к максимальному значению времени переходного процесса $t_{п\Delta}/t_{п\Delta\max}$ от величины нормированного к максимальному значению тока подкачки заряда I/I_{\max} (рис. 1). С помощью дифференциальных уравнений рассчитаны динамические характеристики синтезаторов [2].

Показано, что система синтезатора частот с фильтром, состоящим из интегрирующей емкости, издромного звена и RC-цепи, лучше подавляет фазовые шумы. Время переходных процессов в системе с таким фильтром больше, чем в системе с фильтром без дополнительной RC-цепи, которая вносит дополнительную инерционность в систему. Время переходного процесса $t_{п\Delta}$ уменьшается с ростом тока подкачки I (рис. 1).

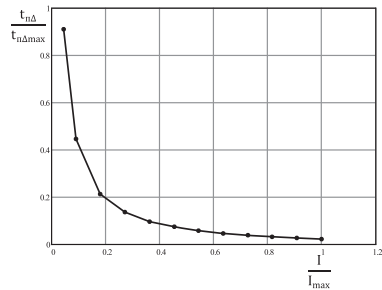


Рис. 1. Зависимость нормированного времени переходного процесса $t_{п\Delta}$ от величины нормированного тока подкачки I

Литература

1. Сайт производителя Analog Devices. Режим доступа: <http://www.analog.com> (дата обращения — 25.11.2017).
2. Макаров А. К., Удалов Н. Н. Динамика синтезатора частоты с частотно-фазовым детектором // Сб. докладов VII междунар. научн. совещания ученых и специалистов по стабилизации частоты и формированию сигналов радио- и оптического диапазонов. — Минск, 1992. — С. 84–90.

К. Ю. Кривопалов, студ.;
рук. Т. И. Болдырева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МАЛОШУМЯЩИЙ АВТОГЕНЕРАТОРНЫЙ МОДУЛЬ С ЭЛЕКТРОННОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ ПО ЧАСТОТЕ

Исследование СВЧ-генераторов, управляемых по частоте напряжением (ГУН), с учетом максимально достижимой полосы перестройки и минимизации фазовых шумов при больших отстройках от несущей частоты является актуальной задачей. Уровень СПМ фазовых (ФМ) шумов является важнейшим показателем качества СВЧ ГУН. Несмотря на значительное число публикаций, задача реализации требований к уровню фазовых шумов при достижении максимальной перестройки частоты до сих пор остается одной из труднейших при проектировании ГУН.

Цель данной работы — разработка схемы малошумящего автогенераторного модуля (АГМ) СВЧ диапазона с электронной перестройкой по частоте на биполярном транзисторе (БТ) с центральной частотой 1 ГГц, перестройкой по частоте не менее 20% и СПМ ФМ шумов при отстройке от несущей частоты на 1 МГц не более -140 дБн/Гц.

В работе была исследована схема автогенераторного модуля (АГМ), состоящего из ГУН и буферного каскада (БК). Проведен расчет мощности ГУН, которая должна быть передана в БК, для минимизации уровней естественных шумов, вносимых в общий уровень ФМ шумов АГМ. Исследовано влияние уровня входной мощности на СПМ ФМ шумов БК.

Предложена методика проектирования ГУН, состоящая из нескольких этапов: расчета автогенератора на фиксированную частоту, выбор схемы ГУН для получения максимального диапазона перестройки. Для нескольких схем включения варикапов исследованы зависимости свойств колебательной системы (КС) (добротности КС и диапазона перестройки от величины емкости элемента перестройки). Для оценки выполения условия самовозбуждения на верхних частотах диапазона перестройки исследованы зависимости управляющего сопротивления и эквивалентной добротности колебательной системы от управляющего напряжения на варикапах.

Разработанная схема АГМ проверена полигармоническим методом в среде ADS.

Литература

1. **Кулешов В. Н., Болдырева Т. И., Перфильев А. А.** и др. Отчет по НИР № 2052070 «Исследование возможности минимизации фазовых шумов кварцевых генераторов метрового диапазона волн». — М.: МЭИ, 2007. — 71 с.
2. **Шитиков Г. Т.** Стабильные автогенераторы метровых и дециметровых волн. — М.: Радио и связь, 1983. — 256 с.

Н. Н. Миронов, студент; рук. А. Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АВТОГЕНЕРАТОР НА СПИН-ВОЛНОВОЙ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ

Исследование колебательных и волновых процессов в магнитных материалах давно стало одним из важнейших направлений фундаментальной физики твердого тела. Спиновые волны — это волны намагниченности в магнитоупорядоченных веществах: ферромагнетиках, антиферромагнетиках и ферримагнетиках. Устройства на спиновых волнах активно исследуются во всем мире на протяжении последних десятилетий, благодаря развитию технологий выращивания эпитаксиальных пленок монокристалла железо-иттриевого граната (ЖИГ). Особенности таких устройств являются работа в диапазоне волн СВЧ при небольшом значении постоянной напряженности внешнего магнитного поля, возможность менять резонансные свойства системы внешним магнитным полем и низкие потери, позволяющие конкурировать с другими пассивными резонансными структурами в диапазоне СВЧ [1].

В работе представлены результаты исследования автогенератора на сверхвысокочастотной линии задержки (ЛЗ) на пленке ЖИГ. Для описания свойств ЛЗ используется модель длинной линии. В работе получены укороченные уравнения автогенератора. Управляющее сопротивление Z_y в этом случае будет иметь вид:

$$Z_y = \left(y_b \frac{\partial \text{sh}(k l)}{\partial \omega} + \text{sh} \frac{\partial y_b}{\partial \omega} \right)^{-1},$$

где — y_b волновая проводимость линии, k — коэффициент распространения, l — длина линии.

Полученные уравнения позволят провести расчет стационарного режима колебаний АГ на пленке ЖИГ, определить основные характеристики генератора на ЛЗ на спиновых волнах, оценить его энергетические и шумовые свойства. Используя зависимость характеристик ЛЗ от напряженности внешнего магнитного поля можно рассчитать диапазон перестройки генератора по частоте.

Литература

1. **Калиникос Б. А., Устинов А. Б., Баруздин С. А.** Спин-волновые устройства и эхо-процессоры. — М: Радиотехника, 2013 г.
2. **Дмитриев В. Ф., Калиникос Б. А.** Возбуждение распространяющихся волн намагниченности микрополосковыми антеннами // Изв. вузов СССР. — Сер. «Физика». — 1988. — № 11. — С. 24–53.

*А. А. Митрофанов, асп.; рук-ли: А. Р. Сафин, к.т.н.,
Н. Н. Удалов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ФАЗОВЫЕ ШУМЫ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ НЕИЗОХРОННЫХ АВТОГЕНЕРАТОРОВ

Одной из главных характеристик любого автогенератора является уровень фазовых шумов. Низкий уровень фазовых шумов автогенератора является необходимым требованием при разработке множества радиолокационных и радио-передающих устройств. Неизохронность автогенераторов, являясь механизмом изменения частоты выходных колебаний, приводит к ухудшению уровня фазовых шумов, из-за влияния амплитудных шумов на фазовые [1]. Одним из способов их уменьшения является использование синхронизации внешней силой. В качестве внешней силы обычно используется гармоническое воздействие или система фазовой автоподстройки частоты.

В данной работе методом медленно меняющихся амплитуд получены линеаризованные укороченные уравнения для расчета уровня фазовых шумов синхронизированного неизохронного автогенератора:

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = \Gamma u + E\varphi + \sqrt{D}\tilde{f}_n(t); \\ \frac{d\varphi}{dt} = N_1 u + \frac{\sqrt{D}}{U_0}\tilde{f}_n(t), \end{cases}$$

где Γ — коэффициент затухания, E — коэффициент синхронизации, N_1 — линеаризованный коэффициент неизохронности, $\tilde{f}_n(t)$ — функция, описывающая влияние белого гауссовского шума, u и φ — малые отклонения амплитуды и разности фаз колебаний автогенератора от стационарных значений, соответственно, D — дисперсия шума, U_0 — стационарное значение амплитуды.

В данной работе приводится сравнение уровня фазовых шумов различных типов автогенераторов, в том числе на сосредоточенных элементах с варикапом, на спин-волновых линиях задержки и нового перспективного класса автогенераторов — спин-трансферных наноосцилляторов.

Полученные результаты предназначены для проектирования систем внешней синхронизации неизохронных автогенераторов.

Литература

1. **Савченко М. П., Старовойтова О. В.** Способ снижения фазовых шумов в автогенераторе с варикапами // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. — 2016. — № 1. — С. 71–75.

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

ОТРАЖАЮЩИЙ ЛИНЕАРИЗАТОР ДЛЯ БОРТОВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ СВЧ-СИГНАЛОВ

В высокоскоростных системах бортовых спутниковых радиопередающих устройств СВЧ-диапазона актуальной является задача одновременного выполнения противоречивых требований по выходной мощности и по уровню интермодуляционных искажений (ИМИ) при учете ограничений на массу и энергопотребление усилителя мощности (УМ). Типовое техническое решение по достижению компромисса состоит в использовании предсказывающего линеаризатора на входе УМ [1]. Цифровые линеаризаторы такого рода не обеспечивают необходимого быстродействия и требуют нежелательного усложнения СВЧ-тракта.

В докладе сопоставлены возможности и области применения аналоговых и цифровых линеаризаторов применительно к бортовым УМ с выходной мощностью до 100 Вт, центральной частотой до 30 ГГц, усилением до 50 дБ и информационной полосой сигнала до 500 МГц, выполненным на основе вакуумных ЛБВ или многокаскадных твердотельных устройств. В докладе обоснована целесообразность и условия применения для этого аналоговых диодных отражающих линеаризаторов [2].

В предсказывающем отражающем линеаризаторе (ПОЛ) развязка падающих и отраженных волн осуществляется при помощи микрополосковой гибридной мостовой схемы или ферритового циркулятора, а значения его комплексного коэффициента передачи зависят от мгновенных частоты и мощности входного сигнала. Показано, что выбором конфигурации и параметров микрополосковых линий, характеристик быстродействующих диодов Шоттки, количества диодов, их смещения и блокирующих цепей удается добиться для интермодуляционных искажений (ИМИ) в ПОЛ, противоположных по отношению таким искажения в УМ.

Представлены результаты имитационного моделирования УМ с ПОЛ при помощи вычислительного пакета AWR Design Environment применительно к УМ на серийной ЛБВ. Показано, что использование ПОЛ позволило снизить уровень ИМИ третьего порядка на выходе УМ на 10 дБ, при относительном уровне выходной мощности -2 дБ относительно точки насыщения.

Литература

1. Спутниковая связь и вещание / Под ред. Л. Я. Кантора. — 3-е изд. — М.: Радио и связь, 1997. — 528 с.
2. **Петушков С. В., Белов Л. А.** Аналоговый предсказывающий линеаризатор для СВЧ-усилителя мощности // Сб. тр. Междунар науч.-техн. конф. «СИНХРОИНФО 2017». — Казань, 3–4 июля 2017 г. — Медиа Паблишер. — С. 169–171.

*Н. В. Торгачев, магистрант; И. Н. Горшенков, магистрант;
рук. Н. Н. Строев, к. т. н., доц. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ПЕРЕДАЧИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА НА БАЗЕ СОВРЕМЕННЫХ ИС

Как правило, передающие устройства миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов строятся на основе волноводных трактов, генераторов на ЛПД или диодах Ганна, обеспечивающих заданную радиочастоту (РЧ), модуляторов и усилителей. Высокая стоимость подобных устройств и сложность настройки сужает возможности их использования в серийно выпускаемой аппаратуре низкого и среднего ценовых диапазонов.

Исходя из проведенного анализа доступной элементной базы, был сделан вывод о необходимости и возможности построения передающего модуля с использованием принципов повышения частоты в передающем тракте за счет частотного умножения с применением технологий печатных плат. Наиболее полно удовлетворяют требованиям интегральные схемы фирмы Analog Device серий HMC [1].

На выходе смесителя-модулятора обеспечивается сигнал вдвое меньшей частоты, чем требуется, следовательно, необходимо применить еще один частотный множитель. Фирмой MACOM Technology Solutions предлагаются готовые решения формирования выходных трактов передающих узлов, реализующих функции частотного умножения и усиления мощности. Для заданного частотного диапазона по техническим требованиям наиболее подходит ИС XX1001-QK [2].

Элементная база для более высоких частот пока мало доступна для широкого применения, ограничивается, в том числе, санкционными ограничениями.

Литература

1. HMC260 DataSheet: [Электронный ресурс] // Analog Device (AD) URL: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/hmc260.pdf>. (дата обращения — 18.09.2017).
2. XX1001-QK DataSheet: [Электронный ресурс] // Macom URL: <http://www.cdn.macom.com/datasheets/XX1001-QK.pdf>. (Дата обращения — 18.09.2017).

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КВАДРАТУРНОГО ДИСБАЛАНСА В ФОРМИРОВАТЕЛЕ НАВИГАЦИОННОГО СИГНАЛА

В новом поколении спутниковых радионавигационных систем используются мультиплексированные меандровые шумоподобные сигналы (МШС) с бинарной модуляцией на поднесущих частотах [1]. Такие сигналы формируются на основе фазовой манипуляции несущего колебания псевдослучайной последовательностью с помощью квадратурных модуляторов.

В настоящее время в литературе отсутствуют исследования о влиянии неидеальной работы квадратурных преобразователей на параметры формируемых навигационных сигналов.

В данной работе рассмотрена модель формирователя навигационного радиосигнала (см. рис. 1). Проведено моделирование и исследовано воздействие факторов неидеальной работы квадратурных модуляторов.

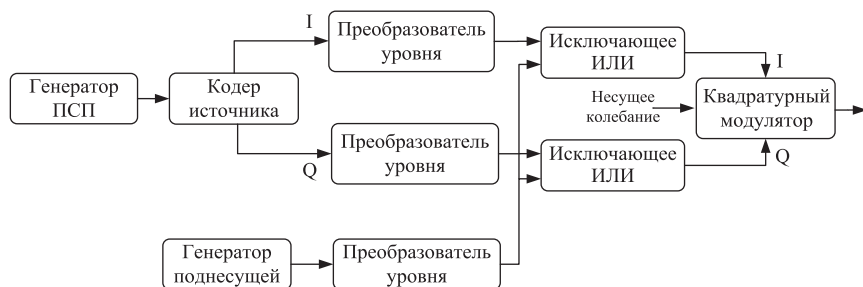


Рис. 1. Структурная схема формирователя меандровых шумоподобных сигналов

В докладе представлено влияние параметров технической неквадратности каналов модулятора на вероятность битовой ошибки распознавания принятого навигационного сообщения [2] при сочетаниях параметров поднесущих колебаний. Сформулированы рекомендации по настройке устройств формирования навигационного сигнала.

Литература

1. **Ярлыков М. С.** Меандровые шумоподобные сигналы (ВОС-сигналы) и их разновидности в спутниковых радионавигационных системах. — М: Радиотехника, 2017. — 417 с.
2. **Косичкина Т. П.** Анализ влияния характеристик квадратурных преобразователей на работу радиоприемных устройств цифровых сигналов радиосвязи и телерадиовещания // Т-Comm. — 2013. — № 9. — С. 100-103.

В. О. Шустов, студент; рук. А. Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНЕТСОПРОТИВЛЕНИЯ И ЭФФЕКТА ПЕРЕНОСА СПИНА В СТРУКТУРАХ «ФЕРРОМАГНИТНАЯ ПЛЕНКА–МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ СТЕРЖЕНЬ»

На сегодняшний день стремительно развивается новое направление твердотельной физики, так называемая спинтроника. Ключевые особенности работы спин-волновых устройств — наличие гигантского магнетосопротивления (GMR) и эффекта переноса спина (spin transfer torque). Гигантское магнетосопротивление наблюдается в тонких многослойных структурах с чередующимися ферромагнитными и немагнитными проводящими слоями и заключается в изменении электрического сопротивления при различных направлениях намагниченностей магнитных слоев. Эффект переноса спина вместе со спин-инжекционным переключением обеспечивают возможность управления намагниченностью посредством инъекции тока в ферромагнетик [1].

Важным применением спиновой электроники является создание устройств генерации волн СВЧ и терагерцового диапазонов обладающими миниатюрными размерами. В качестве недостатков можно отметить низкую выходную мощность генерированных колебаний.

Устройства вида «ферромагнитная пленка — металлический стержень» гораздо легче в изготовлении по сравнению с осцилляторами на основе «наностолбиков» или «наноконтактов». В качестве ферромагнитной пленки чаще всего используются трехслойные структуры, причем один слой имеет фиксированную намагниченность, а намагниченностью второго относительно легко управлять при помощи внешнего магнитного поля или спин-поляризованного тока. Свободный слой отделяется от статического немагнитным металлом. Через стержень в структуру поддается спин-поляризованный ток. Таким образом возникает процессия намагниченности. В работе приведен обзор статей по спин-волновому возбуждению пленок под действием спин-поляризованного тока, рассмотрена математическая модель образца. Были экспериментально получены вольт-амперные характеристики такой структуры.

Литература

1. **Гуляев Ю. В., Зильберман П. Е., Панас А. И. и др.** Спинтроника: обменное переключение ферромагнитных металлических переходов при малой плотности тока // Успехи физ. наук. — 2009. — Т. 179, № 4. — С. 359–368.

Секция 3

УСТРОЙСТВА ОБРАБОТКИ РАДИОСИГНАЛОВ

*Председатель секции — зав. каф. ФОРС, д.т.н., профессор
Ю.А. Гребенко*

Секретарь секции — ст. преподаватель В.А. Филатов

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

СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ SC-ФИЛЬТРА НИЖНИХ ЧАСТОТ НА БАЗЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАДЕРЖКИ

В докладе рассматривается реализация фильтра нижних частот (ФНЧ) IV порядка с использованием схемотехники на переключаемых конденсаторах (ПК) [1].

Схемотехническая реализация таких SC-фильтров обычно выполняется на базе интеграторов, реализованных на ПК. В докладе приводится альтернативный вариант расчета и реализации указанного SC-фильтра на базе элементов задержки, реализованных на ПК. Такой вариант реализации не отражен в технической литературе, но представляется перспективным, так как появляется возможность использовать структурные схемы фильтров, разработанные для решения задач цифровой фильтрации [2].

В докладе наряду с процедурой схемотехнической реализации рассматриваемого SC-фильтра большое внимание уделено схемотехническому моделированию фильтров на ПК. Проводится сопоставление АЧХ SC-фильтра, полученной при моделировании с использованием макроса элемента задержки из библиотеки MicroCap, и АЧХ, снятой по точкам, для модели реальной схемы фильтра с конденсаторами и ключами.

Для сравнения вариантов схем предлагается также проводить моделирование во временной области, например, сравнивая по форме импульсные характеристики рассматриваемых схем. Импульсные характеристики рассчитываются программой MicroCap для обеих сравниваемых схем.

В докладе приводятся результаты, подтверждающие эффективность предлагаемого подхода.

Литература

1. Аллен Ф., Санчес-Синенсио Э. Электронные схемы с переключаемыми конденсаторами / Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1989.
2. Гребенко Ю. А. Методы цифровой обработки сигналов в радиоприемных устройствах. — М.: Издательский дом МЭИ, 2006.

Чит Каунг, студ.; рук. В. А. Федоров, доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ОТРАЖЕННОГО СИГНАЛА В ДИАГНОСТИЧЕСКОМ БИОРАДИОЛОКАТОРЕ

Радиолокационное зондирование человека миллиметровыми волнами с последующей целенаправленной обработкой отраженного сигнала в диагностическом биорадиолокаторе позволяет *неконтактным способом* не только обнаружить наличие живого объекта, но и диагностировать, например, его сердечно-сосудистую систему [1].

Отраженный сигнал, кроме полезного диагностического компонента, имеет много других недиагностических составляющих, которые должны быть удалены в результате предварительной обработки сигнала.

В докладе рассматриваются особенности построения тракта предварительной обработки отраженного сигнала в диагностическом биорадиолокаторе. Основное внимание уделяется устранению случайных скачков фазы отраженного сигнала.

Для анализа влияния аппаратуры на появление скачков фазы использовался имитатор отражающей поверхности тела человека. Эксперимент показал, что в отраженном сигнале от имитатора микроперемещений поверхности человека фазовые скачки отсутствуют. Возникновение фазовых скачков в реальном эксперименте можно объяснить близостью амплитуд квадратурных составляющих отраженного сигнала к нулю.

В докладе показано, что отраженный сигнал после фильтрации требует дополнительной обработки, так как в сигнале в местах удаления скачков фазы остаются неоднородности, расширяющие спектр отфильтрованного сигнала. Для коррекции неоднородностей в отраженном сигнале места неоднородностей необходимо удалить, а концы сигнала в местах удаления сшить таким образом, чтобы место сшивки представляло гладкую непрерывную производную амплитуды сигнала. После этой процедуры можно переходить к дальнейшей спектральной обработке отраженного сигнала.

Литература

1. **Федоров В. А.** Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

В. С. Екимовская, студ.; рук. В. А. Филатов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКАНАЛЬНОГО АКТИВНОГО ФИЛЬТРА НИЖНИХ ЧАСТОТ V ПОРЯДКА

При приеме и обработке широкополосных радиосигналов необходимо обеспечить постоянство группового времени запаздывания (ГВЗ) для различных составляющих спектра полезного сигнала, прошедших через избирательные цепи, в частности, фильтр нижних частот (ФНЧ). Для уменьшения неравномерности ГВЗ целесообразно использовать линейризацию фазочастотной характеристики (ФЧХ) ФНЧ с помощью цифрового фильтра-корректора [1].

В докладе рассматривается разработка двухканального активного ФНЧ Баттерворта V порядка, предназначенного для экспериментальной проверки алгоритмов цифровой линейризации ФЧХ, а также для реализации комплексного фильтра на основе двух идентичных ФНЧ.

Синтез структуры такого фильтра на идентичных звеньях проведен по методике [2] на неидеальных инвертирующих интеграторах. По результатам синтеза разработана принципиальная схема фильтра на операционных усилителях, создана компьютерная модель фильтра, на которой методом имитационного моделирования в программе MicroCAP проведен анализ функционирования во временной и частотной области, сделана оценка влияния разброса номиналов пассивных компонентов на идентичность каналов фильтра.

Разработка конструкции фильтра и трассировка печатной платы выполнена в САПР Altium Desiner. Сборка фильтра по технологии поверхностного монтажа произведена на полуавтоматической установке Essemtec Expert. Экспериментальные исследования частотных характеристик макета фильтра проведены с использованием измерительного автоматизированного комплекса National Instruments. По результатам экспериментов выполнена верификация имитационной компьютерной модели фильтра.

Разработанный макет позволяет обрабатывать и оптимизировать алгоритмы линейризации ФЧХ для ФНЧ и комплексных фильтров, а также оценить эффективность метода цифровой линейризации ФЧХ на физической модели.

Литература

1. **Гребенко Ю. А., Поляк Р. И.** Линейризация фазочастотной характеристики фильтра нижних частот // Вестник МЭИ. — 2015. — № 3.
2. **Гребенко Ю. А., Филатов В. А., Смольский С. М.** Комплексный фильтр для прецизионного многоканального навигационного приемника // 26-я Международная крымская конференция (КрыМиКо'2016). — Севастополь, 2016. — Т. 3.

С. В. Ковалев, асп.; рук. Ю. А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОСТИ РАДИОЧАСТОТНОГО КОНФИГУРИРУЕМОГО ПРИЕМНИКА

Использование интегральных микросхем (ИМС) программно-конфигурируемых приемопередатчиков (ПКПП) в современных системах радиосвязи позволяет в широком диапазоне частот реализовать тот или иной стандарт связи на единой аппаратной платформе [1]. Высокая степень интеграции таких ИМС наряду с большими возможностями их перепрограммирования упрощает процесс проектирования, но затрудняет оценку ряда важных для практического применения ИМС показателей из-за отсутствия доступа к составным частям ИМС.

Доклад посвящен сравнительному анализу показателей нелинейности IP3 [1] радиочастотного конфигурируемого приемника ИМС ПКПП AD9361 [2], полученных с помощью физической и математической моделей.

Физическая модель построена с использованием отладочной платы Xilinx ZC706 и модуля AD-FMCOMMS2-EBZ на основе ИМС AD9361 и, следовательно, адекватна исходному приемнику. В качестве математической модели выбрана модель разработчика ИМС AD9361 для работы в системе MATLAB Simulink.

Измерения проводились по методике [3] при следующих параметрах входного сигнала и приемного тракта:

- уровень входного сигнала — от 0 до -60 дБм;
- частота двухтонового сигнала — 2,0010 и 2,0011 ГГц;
- диапазон изменения усиления приемника — от 5 до 65 дБ;
- частота среза фильтра нижних частот — 5 МГц.

В докладе приводятся результаты физического эксперимента и использования математической модели. В итоге сравнительного анализа полученных результатов делается вывод о допустимости использования в дальнейших исследованиях только математической модели.

Литература

1. **Галкин В. А.** Основы программно-конфигурируемого радио. — М.: Горячая линия. — Телеком, 2013.
2. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.analog.com/media/en/technicaldo-cumentation/data-sheets/AD9361.pdf>
3. **Поляков А. Е., Стрыгин Л. В.** Методика измерения IP2 и IP3 двухтонового сигнала // Труды МФТИ. — 2012. — Т. 4, № 2. — С. 54–63.

*А. М. Левадный, студ.; М. Ю. Зинченко, асп.;
рук. Ю. А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

РЕАЛИЗАЦИЯ В БАЗИСЕ ПЛИС КОДЕРА НИЗКОПЛОТНОСТНЫХ КОДОВ ДЛЯ ПОРТАТИВНЫХ УСТРОЙСТВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

К современным системам радиосвязи предъявляются требования высоконадежной передачи цифровой информации по каналам с помехами. Для выполнения этих требований используются методы помехоустойчивого кодирования [1].

В настоящее время существует большое количество кодов, которые могут находить и исправлять ошибки. Среди них большой практический интерес представляют низкоплотностные коды исправления ошибок, ставшие частью стандарта DVB-S2 [2].

Аппаратная реализация в базисе ПЛИС процедур кодирования и декодирования низкоплотностных кодов является нетривиальной задачей, особенно для портативных устройств передачи данных, которые имеют ограниченное время автономной работы.

Исследованию алгоритмов и рациональной аппаратной реализации в базисе ПЛИС процедур декодирования низкоплотностных кодов в вышеуказанном практическом применении посвящены доклады [3, 4].

Представленная в данном докладе работа сохраняет методическую основу исследования и подход к практической реализации из [3, 4] и посвящена кодированию низкоплотностных кодов.

Результатом этой работы является реализация требуемого кодера низкоплотностных кодов стандарта DVB-S2 с оптимальным использованием аппаратных ресурсов ПЛИС.

В докладе приводится архитектура такого кодера и показано влияние скорости кода на задействованные ресурсы ПЛИС.

Литература

1. **Скляр Б.** Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.
2. **European Telecommunication Standards Institute (ETSI)**, <http://www.dvb.org>.
3. **Зинченко М. Ю.** Исследование и реализация алгоритмов декодирования низкоплотностных кодов // Тез. докл. XXII Междунар. НТК студентов и аспирантов «Радиотехника, электроника и энергетика». — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — Т. 1. — С. 41.
4. **Зинченко М. Ю.** Реализация декодера низкоплотностных кодов на ПЛИС для портативных систем передачи данных // Тез. докл. XXIII Междунар. НТК студентов и аспирантов «Радиотехника, электроника и энергетика». — М.: Издательский дом МЭИ, 2017. — Т. 1. — С. 49.

Д. А. Межрауп, студ.; рук. В. А. Филатов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ МИКРОСХЕМОЙ ЭКВАЛАЙЗЕРА ПО USB-ИНТЕРФЕЙСУ

Для цифрового управления функциональными узлами радиоаппаратуры с помощью микроконтроллера широкое применение получила последовательная шина I²C [1].

На кафедре формирования и обработки радиосигналов НИУ «МЭИ» много лет используется учебная лабораторная установка для исследования функционирования большой интегральной схемы (БИС) 5-полосного эквалайзера с управлением по шине I²C [2] от компьютера по устаревшему к настоящему времени интерфейсу параллельного LPT-порта.

В докладе рассматриваются результаты модернизации этой установки с заменой устаревшего LPT-I²C интерфейса на современный USB-I²C мост и разработки управляющей программы для наглядного графического управления микросхемой БИС от персонального компьютера (ПК).

Аппаратная часть разработанного моста реализована на основе 8-битного микроконтроллера PIC18F2550, который с помощью принимаемых по интерфейсу USB от ПК данных, формирует необходимые команды и отправляет их по шине I²C на микросхему эквалайзера для управления частотными характеристиками. При создании программного обеспечения для микроконтроллера использовался программный стек USB от компании Microchip, Отладка программного обеспечения и доработка стека под конкретную задачу проводилась в среде программирования MPLAB X IDE. Для удобства пользователя разработан виртуальный прибор (графический интерфейс на ПК) в среде LabVIEW для взаимодействия через мост с внешними устройствами по шине I²C.

С помощью изготовленной экспериментальной платы моста USB-I²C произведена отладка и экспериментальные исследования, показавшие эффективность и правильность функционирования предложенных алгоритмов, работоспособность устройства и возможность его использования для модернизации учебной лабораторной установки, а также решения других задач с использованием шины I²C.

Работа выполнена при финансовой поддержке компании «М. Видео».

Литература

1. **Семенов Б. Ю.** Шина I²C в радиотехнических конструкциях. — М.: СОЛОН-Пресс, 2004. изд. 2-е.
2. **Богатырев Е. А., Филатов В. А.** Исследование большой интегральной схемы многополосного регулятора тембра с цифровым управлением по шине I²C: Учеб. пособие. — М.: Изд-во МЭИ, 2017.

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

ПЕЛЕНГАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В МОРСКИХ УСЛОВИЯХ

В докладе рассматривается пеленгатор источников радиоизлучения, предназначенный для работы на плавсредствах в морских условиях. Для первичной обработки принимаемых колебаний в пеленгаторе предусмотрено унифицированное приемное и вычислительное устройство, входящее в состав установленной на плавсредстве импульсно-доплеровской РЛС с многоканальной антенной системой. Определение угловых координат источников излучения производится на основе методов сверхразрешения, которые требуют дополнительной цифровой обработки принимаемых колебаний. Основным алгоритмом пеленгации является алгоритм Кейпона [1], который имеет ряд преимуществ перед другими методами [2].

Пеленгация источников радиоизлучения в морских условиях имеет ряд специфических особенностей, к которым в первую очередь относятся следующие:

- необходимость учета в алгоритмах пеленгации качки плавсредства, на котором установлен пеленгатор;
- наличие отраженного от морской поверхности радиосигнала источника излучения, который в зависимости от состояния поверхности моря имеет различную мощность и коррелирует с прямым радиосигналом от источника.

На работу пеленгатора влияют также специфические особенности первичной обработки сигналов в унифицированном вычислительном устройстве импульсно-доплеровской РЛС.

В докладе приведены результаты исследования на математической модели, разработанной в среде MathCAD, влияния отражения от морской поверхности на характеристики однокоординатного алгоритма пеленгации при различной степени волнения моря. Рассматриваются зависимость угловых ошибок пеленгации от точности данных о качках плавсредства и алгоритм определения количества источников излучения.

Литература

1. **Ратынский М. В.** Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках. — М.: Радио и связь, 2003.
2. Защита радиолокационных систем от помех. Состояние и тенденции развития / Под. ред. А. И. Канащенкова и В. И. Меркулова. — М.: Радиотехника, 2003.

И. А. Мокрушин, студ.; рук-ли Ю. А. Гребенко, д.т.н., проф.;
А. В. Щукин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МНОГОРЕЖИМНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА

В настоящее время большинство зарядных устройств выполняют заряд аккумулятора (АКБ) до полного заряда. Однако в случае длительного хранения полностью заряженной АКБ существенно ускоряется процесс старения и уменьшается восстанавливаемая емкость. В соответствии с рекомендациями по хранению Li-Ion аккумуляторов, необходимо поддерживать уровень заряда 40–60% от максимального заряда [1].

В докладе приводятся результаты разработки зарядного устройства с несколькими режимами работы: полная зарядка, режим хранения, полная разрядка. Управление режимами осуществляется микроконтроллером MKL16Z256VMP4 [2] на основе информации, полученной от контроллера, встроенного в АКБ. В качестве контроллера используется микросхема BQ27510DRZ [3], позволяющая по протоколу I²C передавать на микроконтроллер информацию о текущем состоянии АКБ: текущий уровень заряда, ток заряда, напряжение, текущую и полную емкость, температуру. Алгоритм заряда контролируется микросхемой LTC4012IUF. Она позволяет в соответствии с текущим состоянием АКБ устанавливать необходимые напряжение и ток заряда. Для работы зарядного устройства с АКБ без встроенного контроллера реализована возможность контроля только напряжения на АКБ.

Изготовлен прототип разработанного зарядного устройства. Управление осуществляется кнопкой с двумя состояниями: длительное и короткое нажатие. Визуальная информация об уровне заряда и выбранном режиме отображается на LCD-дисплее с разрешением 128×64 пикселей.

Для тестирования и конфигурирования устройства разработана программа под среду Windows. Связь компьютера с устройством реализована с использованием последовательного COM-порта.

Литература

1. **Ерин С. А.** Особенности строения Li-Ion аккумуляторов // Технологии в электронной промышленности. — 2014. — № 7. — С. 92–95.
2. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/KL16P64M48SF4.pdf>.
3. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq27510-g3.pdf>.

Б. Рэнцэнмягмар, асп.; рук. М. Ю. Лишак, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ ЗАДЕРЖКИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СИГНАЛА С ВОССТАНОВЛЕНИЕМ ЕГО КОМПЛЕКСНОЙ ОГИБАЮЩЕЙ

Использование в современной ультразвуковой (УЗ) дефектоскопии сложно модулированных импульсных сигналов позволяет значительно повысить разрешающую способность и помехоустойчивость измерителя задержки УЗ-сигналов [1]. Для оптимальной обработки таких сигналов используются согласованные фильтры. Однако неравномерность амплитудно-частотной характеристики и нелинейность фазочастотной характеристики передающего и приемного УЗ-преобразователей приводят к искажению принятого сигнала, в результате чего ухудшается качество работы измерителя.

Для ослабления искажающего влияния УЗ-преобразователей предлагается использовать способ восстановления сигнала путем фильтрации его комплексной огибающей корректирующим фильтром с передаточной функцией [2]:

$$H_{\text{восст}}(\omega) = \frac{H^*(\omega)}{|H(\omega)|^2 + \alpha Q(\omega)},$$

где $H(\omega)$ — комплексная передаточная функция низкочастотного эквивалента искажающей системы, $Q(\omega)$ — стабилизирующая функция, α — параметр стабилизации. В качестве передаточной функции искажающей системы $H(\omega)$ используется преобразование Фурье комплексной огибающей импульсной характеристики системы УЗ-преобразователей, которая предварительно измеряется.

На основе разработанной ранее в системе MATLAB модели [3] проведено исследование характеристик измерителя при использовании процедуры восстановления принятого сигнала.

В докладе приведены результаты моделирования при различных параметрах корректирующего фильтра. Полученные результаты необходимы для оценки эффективности уменьшения искажающего влияния характеристик УЗ-преобразователей.

Литература

1. Качанов В. К., Карташев В. Г., Соколов И. В. Ультразвуковая помехоустойчивая дефектоскопия. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. Василенко Г. И. Теория восстановления сигналов. — М.: Сов. Радио, 1979.
3. Рэнцэнмягмар Б., Лишак М. Ю. Моделирование в системе MATLAB оптимального измерителя задержки ультразвукового фазоманипулированного сигнала // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: XXIII МНТК студентов и аспирантов: Тез. докл. Т. 1. — М.: Издательский дом МЭИ, 2017.

*К. В. Савощенко, студ.; рук-ли Ю. А. Гребенко, д.т.н., проф.;
В. А. Филатов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»);
А. С. Будяков, к.т.н., доц., нач. отд.; Е. С. Дрозденко,
инж. 2-й кат. (НПП «Пульсар», Москва)*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО ФИЛЬТРА НИЖНИХ ЧАСТОТ НА ОСНОВЕ ТРАНСКОНДУКТИВНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

В устройствах приема и обработки радиосигналов избирательность приемника может достигаться LC-фильтрами, но они громоздки и не технологичны, так как не интегрируются в микросхемы. Приемники с активными RC-фильтрами на операционных усилителях в интегральном исполнении достигают существенно меньших размеров, но для получения требуемой избирательности необходимо использовать точные значения широкого ряда внешних RC компонентов, либо применять схемы с пониженной рабочей частотой. Например, от супергетеродинной структуры с полосовым фильтром переходить на гомодинную структуру с нулевой промежуточной частотой и активным RC-фильтром нижних частот (ФНЧ). Для современных радиоприемников с программно задаваемыми характеристиками (SDR) стали использовать интегральные ФНЧ на транскондуктивных усилителях (ТУ). Благодаря их технологичности и компактности схему всего радиоприемника можно разместить на одном кристалле площадью несколько квадратных миллиметров, а простое управление параметрами ТУ дает возможность изменять усиление и перестраивать частоту среза ФНЧ. Все компоненты схемы на ТУ реализуются в элементном базисе КМОП технологического процесса HCMOS8D, освоенного в ПАО «Микрон» (г. Зеленоград).

В докладе приводятся результаты решения актуальной задачи разработки перестраиваемого ФНЧ Баттерворта VI порядка на ТУ для интегрального радиоприемника с учетом базиса отечественного КМОП 0,18 мкм технологического процесса изготовления. Проведено сравнение схмотехники построения перестраиваемых фильтров, составлены и проанализированы компьютерные модели функциональных узлов и фильтра на ТУ в целом, разработана схема и топология интегрального фильтра.

Основные параметры разработанного фильтра:

- частота среза ФНЧ (f_{cp}) изменяется от 1 до 33 МГц;
- затухание на частоте $2f_{cp}$ 31 дБ, на частоте $3f_{cp}$ 50 дБ;
- коэффициент усиления 41 дБ;
- максимальное выходное дифференциальное напряжение фильтра 1,1 В при напряжении питания 3,3 В.

*Н. Д. Сергиенко, А. П. Щукин, студенты;
рук. П. С. Остапенков, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРОГРАММИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ НА КРИСТАЛЛЕ СЕМЕЙСТВА ZYNQ-7000 ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Семейство Zynq-7000 полностью программируемых систем на кристалле (СнК) компании Xilinx позволяет разработчикам комбинировать методы проектирования — реализация цифрового дизайна и программирования встроенных систем [1]. Данные СнК представляют новый класс ПЛИС с встроенными аппаратными ядрами микропроцессора (МП). Использование СнК позволяет реализовывать сложные проекты, ограничиваясь практически одной интегральной схемой, в которой задачи цифровой обработки сигналов решаются на основе ПЛИС, в то время как МП позволяет производить операции с вычислениями чисел с плавающей запятой и обеспечивает работу интерфейсов обмена данными с внешними устройствами.

Программирование СнК является нетривиальной задачей. Для ее решения важно рационально распорядиться ресурсами СнК, определить какие функции должны быть реализованы программно, а какие — аппаратно [2].

В докладе рассматривается СнК Zynq-7020, которая оснащена 2-ядерным МП с архитектурой ядер ARM Cortex-A9, совмещенным с программируемыми ячейками ПЛИС FPGA Artix-7. Обсуждается распределение функций при проектировании устройств цифровой обработки сигналов (ЦОС) и реализация модулей, используемых для ЦОС.

В докладе приводятся результаты разработки проекта цифрового фильтра на ПЛИС и реализация на ПЛИС быстрого преобразования Фурье с блоком данных, формируемым в МП. Обсуждается использование прерываний процессора по таймеру и передача данных по внутреннему интерфейсу между МП и ПЛИС, а также по внешнему интерфейсу Ethernet.

Проектирование модулей на основе СнК проводилось в САПР компании Xilinx «Vivado Design Suite» и среде разработки Xilinx «Software Development Kit», позволяющей настраивать процессорные прерывания и интерфейс Ethernet с помощью специализированных библиотек.

В результате проведенного программирования СнК для использования в задачах ЦОС показаны преимущества использования гибридных платформ типа СнК.

Литература

1. **Santarini M.** Zynq-7000 EPP Sets Stage for New Era of Innovations // Xcell Journal. — 2011. — № 2.
2. **Максфилд К.** Проектирование на ПЛИС. Курс молодого бойца. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007.

Шайн Аунг, студ.; рук. В. А. Федоров, доц. (НИУ «МЭИ»)

ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПЕКТРОВ РИТМОГРАММ В ДИАГНОСТИЧЕСКОМ БИОРАДИОЛОКАТОРЕ

Известно, что анализ вариабельности ритма сердца человека состоит в оценке изменчивости длительности последовательных кардиоциклов на выбранном промежутке времени. Длительность кардиоциклов можно определить, например, по сигналу ЭКГ. Поскольку наиболее часто для этой цели используют R-зубец на ЭКГ, то полученные данные называют RR интервалами, а последовательность RR интервалов — *ритмограммой*.

Ритмограмма является типичным дискретным сигналом. Спектральные методы анализа таких сигналов применяются для выявления характерных периодов в динамике RR интервалов, оценки вклада тех или иных периодических составляющих в общую динамику изменения сердечного ритма [1].

В докладе рассматриваются спектры ритмограмм, полученные *неконтактным* способом с помощью диагностического биорадиолокатора, осуществляющего зондирование человека электромагнитными волнами миллиметрового диапазона [2].

Экспериментальные исследования показали, что такие спектры идентичны полученным традиционным для медицины контактными способом и, как правило, имеют 3 частотных кластера, параметры которых содержат диагностическую информацию.

Фрактальный анализ спектра ритмограммы диагностического компонента отраженного сигнала позволяет ввести новые информативные показатели для оценки функционального состояния испытуемого.

В докладе представлены результаты исследования фрактальных свойств спектров ритмограмм, полученных с помощью диагностического биорадиолокатора, и анализируются необходимые в таком измерительном комплексе программно-аппаратные средства.

Литература

1. **Беляев К. Р.** Методы анализа вариабельности ритма сердца: Учеб. пособие; <http://sites.google.com/site/konstbel/spisok-moih-publikacij/metody-analiza-variabelnosti-ritma-serdca/risunki-k-posoliju-hrv>.
2. **Федоров В. А.** Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

А. К. Шефер, студ.; рук. Л. Т. Сазонова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ДЛИННЫХ ЛИНИЙ В ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ УЗЛОВ ТРАКТА ОБРАБОТКИ РАДИОСИГНАЛОВ

Разработка топологии печатных плат (ПП) высокочастотных узлов тракта обработки радиосигналов является нетривиальной задачей во многом из-за необходимости компенсации эффекта длинных линий [1].

В докладе рассматривается возможность исследования этого эффекта с помощью математической модели ПП. При этом во внимание принимаются те участки ПП, которые образованы двумя параллельными проводниками тока, длина которых много больше длины волны, распространяющейся в них, иными словами — длинные линии.

На этих участках ПП возможно возникновение эффекта близости, при котором происходит взаимное притяжение токов, текущих по расположенным рядом проводникам, а также поверхностного эффекта, при котором происходит вытеснение тока в поверхностный слой проводника с увеличением частоты. Глубина проникновения тока h определяется выражением

$$h = \frac{2\rho}{\omega\mu}$$

где ρ — удельное сопротивление проводника, μ — его магнитная проницаемость, ω — частота.

С помощью математической модели оценивается влияние негативных эффектов на работу сигнальных цепей и цепей питания ПП и формируется набор рекомендаций разработчику ПП. Следование этим рекомендациям позволяет компенсировать возникающие негативные эффекты.

Литература

1. **Кечиев Л. Н.** Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры. — М.: Группа ИДТ, 2007.

О. В. Смирнов, асп.;
рук. Е. А. Богатырев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА «RFID-ТОННЕЛЬ»

Пассивные системы радиочастотной идентификации (англ. Radio Frequency Identification — RFID), функционирующие в частотном диапазоне 860–960 МГц, обладают большими возможностями при решении логистических задач, одной из которых является групповая идентификация объектов, маркированных радиометками, при помощи RFID-считывателей [1]. Однако практическая реализация такой групповой идентификации требует решения проблемы паразитного считывания радиометок, обусловленного наличием многочисленных переотражений, и учета множества влияющих факторов: особенностей производственного процесса, окружающей среды, требований заказчика и др. [2]. Все это чаще всего делает конечное решение индивидуальным.

В докладе рассматривается результат решения указанной проблемы применительно к процедуре учета экипировочного имущества (ЭИ), укомплектованного в опломбированные сумки, во время отгрузки на авиарейс в аэропорту. В качестве результата представлен специализированный программно-аппаратный комплекс «RFID-тоннель».

В докладе обсуждается построение аппаратной части комплекса с использованием его структурной модели. В состав аппаратной части входят RFID-считыватель Impinj R420, контроллер управления внешними устройствами, четыре антенны Feig. Конструкция RFID-тоннеля выполнена в виде цельного металлического кожуха с экранирующими порталами для снижения уровня мощности, излучаемой за его пределы. Перемещение ЭИ через RFID-тоннель происходит по транспортной ленте.

В докладе также приводится блок-схема алгоритма функционирования программной части комплекса. Программное обеспечение, дистанционно управляющее работой считывателя и тоннеля в целом, развернуто на сервере и интегрировано с информационной системой SAP авиакомпании.

Разработанный и внедренный в авиакомпании комплекс обладает лучшими технико-экономическими показателями на отечественном рынке и не уступает дорогим зарубежным аналогам.

Литература

1. **Финкенцеллер, Клаус.** Справочник по RFID: теоретические основы и практическое применение индуктивных радиоустройств, транспондеров и бесконтактных чип-карт. — М.: Додэка-XXI, 2008.
2. **Лахири, Сандип.** RFID. Руководство по внедрению: практическое руководство от опытного ИТ-архитектора в области RFID: научитесь оценивать, планировать и развертывать RFID-системы. — М.: Кудиц-Пресс, 2007.

А. Д. Спицын, студ.; рук-ли Ю. А. Гребенко, д.т.н., проф.;
А. В. Щукин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ В МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ PIC18

Однокристалльные микроконтроллеры в настоящее время используются в разнообразных системах управления и контроля. Часто применяется взаимодействие микроконтроллеров друг с другом на небольших расстояниях. Для этого используются внутриприборные цифровые последовательные интерфейсы ввода/вывода информации. Наиболее широко распространенными являются интерфейсы *SPI*, *I2C* и *USART*. У каждого из них есть свои достоинства и недостатки. Каждый имеет свои приоритетные области применения.

Любой интерфейс состоит из аппаратной части, которая реализована в микроконтроллере и программной части, которая написана на языке высокого уровня в среде программирования *MPLAB X IDE*, предоставленной компанией *Microchip Tehnology inc*. Главной особенностью языка высокого уровня является то, что он не привязан к конкретному семейству микроконтроллеров, а написание кода программы на нем занимает гораздо меньше времени по сравнению с языком низкого уровня [1].

В докладе представлены результаты методической проработки использования рассматриваемых последовательных интерфейсов для адаптации студентов к нововведениям в курсе цифровой и микропроцессорной техники.

Рассмотрены особенности использования интерфейсов и области их применения.

Предложены примеры реализации алгоритмов рассматриваемых интерфейсов для микроконтроллеров *PIC18* в среде программирования *MPLAB X IDE*.

Модернизирован макет демонстрационных лабораторных работ на микроконтроллере *PIC18F4550*. В макет включен модуль индикатора с интерфейсом *UART*.

По реализованному алгоритму написаны программы передачи и приема данных со скоростью 9600 бод.

Литература

1. Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров / Сост. Ю. А. Шпак. — Киев: МК-Пресс, 2006.

Тан Хтет Аунг, студ.; рук. В. А. Федоров, доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ОТРАЖЕННОГО СИГНАЛА В ДИАГНОСТИЧЕСКОМ БИОРАДИОЛОКАТОРЕ

Рассматриваемый в докладе диагностический биорадиолокатор представляет собой программно-аппаратный измерительный комплекс, который в отраженном от человека сигнале позволяет выделить диагностический компонент, характеризующий, например, состояние сердечно-сосудистой системы [1].

В спектре такого диагностического компонента необходимо с высокой точностью определить частоту максимальной гармоники. Точность определения местоположения этой гармоники на частотной оси определяется длиной выборки. Чем длиннее выборка, тем точнее результат. Однако при длинной выборке спектр сигнала в процессе широко применяемого преобразования Фурье теряет важные детали за счет усреднения.

Следовательно, такой алгоритм спектральной обработки не обеспечивает необходимую точность измерения искомой частоты. Для более точного измерения в рассматриваемом биорадиолокаторе используется метод оптимальной фильтрации с согласованным фильтром [2], роль которого выполняет *алгоритм спектральной маски* [1].

Особенность алгоритма заключается в учете влияния верхних гармоник спектра. Процедура его выполнения состоит в последовательном сканировании маски по всем дискретным линиям спектра, скалярном перемножении маски на спектр для каждой спектральной линии и выборе максимального значения результата перемножения. Оно и определяет точное положение максимальной гармоники спектра на частотной оси.

В докладе представлен анализ программной реализации этого алгоритма и приводятся результаты экспериментальных исследований, которые показывают эффективность алгоритма при спектральной обработке реального сигнала.

Литература

1. **Федоров В. А.** Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
2. **Исаков В. Н.** Курс лекций по дисциплине «Статистическая теория радиотехнических систем»; <http://www.circuits-signals.narod.ru>

М. Ю. Зинченко, асп.;
рук. Ю. А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ НА ПЛИС АЛГОРИТМА ЦИФРОВОГО ПРИЕМА СИГНАЛА С АДАПТИВНЫМ ЭКВАЛАЙЗЕРОМ

Для цифровой радиосвязи в городских условиях многолучевые замирания являются основным эффектом, вносящим в сигнал искажения. Одним из способов компенсации влияния этих искажений является решение задачи обратной идентификации, то есть выравнивание частотной характеристики сигнала. Алгоритмы, позволяющие выполнить такое выравнивание, получили название «адаптивные эквалайзеры» [1].

В докладе рассматривается результат реализации на ПЛИС алгоритма приема сигнала с использованием адаптивного эквалайзера, работа которого основана на цифровой обработке принятой и сгенерированной в приемнике опорной последовательности. Приводятся метод расчета вносимых каналом связи искажений в частотной области и способ вычисления коэффициентов для выравнивая частотной характеристики опорного блока.

В системе радиосвязи используется временное разделение с пакетной передачей данных информационными блоками длительностью 500 мкс, включающими 50 мкс образцовой последовательности. Считая, что за время передачи одного информационного блока условия распространения в радиоканале квазистационарны, можно скорректировать спектр всего блока рассчитанными по опорному блоку коэффициентами.

В докладе также представлен способ повышения эффективности приема-передачи за счет объединения алгоритма цифрового адаптивного эквалайзера и методов передачи с перестройкой центральной частоты и каскадного кодирования информации кодами Рида-Соломона и LDPC [2].

Реализованный алгоритм работы приемника с цифровым адаптивным эквалайзером, параметры которого автоматически подстраиваются под статистические свойства обрабатываемого сигнала, позволяет исправить искажения из-за многолучевых замираний. Его использование совместно с помехоустойчивыми кодами обеспечивает успешное функционирование радиосистемы в присутствии шумов и помех с неизвестными заранее свойствами.

Литература

1. **Сергиенко А. Б.** Алгоритмы адаптивной фильтрации: особенности реализации в MATLAB // Математика в приложениях. — 2003. — № 1 (1).
2. **Зинченко М. Ю.** Реализация декодера низкоплотностных кодов на ПЛИС для портовых систем передачи данных // Радиотехника, электроника и энергетика: XXIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. В 3 т. — М.: Издательский дом МЭИ, 2017. — Т. 1. — С. 49.

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

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА НА ОСНОВЕ SDR-МОДУЛЯ

Современные программно-конфигурируемые радиосредства (англ. Software-Defined Radio — SDR) [1], в которых аппаратная часть минимизирована, а алгоритмы цифровой обработки сигналов (ЦОС) реализуются программно, предоставляют большие возможности для организации экспериментальных исследований радиосигналов и отработки алгоритмов ЦОС.

В докладе представлены результаты разработки лабораторного стенда на основе SDR-модуля с выводом оцифрованного радиосигнала на персональный компьютер.

В состав используемого SDR-модуля входят интегральный широкодиапазонный радиоприемник и цифровой демодулятор с входным АЦП и выходным USB интерфейсом.

Основные характеристики такого радиоприемного модуля:

- диапазон частот — от 24 до 1766 МГц;
- максимальная частота дискретизации — 3,2 МГц;
- разрядность АЦП — 8 бит;
- интерфейс управления и вывода данных на компьютер — USB2.0.

На персональном компьютере в среде Labview создан виртуальный прибор, выполняющий заданный алгоритм ЦОС и позволяющий управлять настройками радиоприемного модуля (центральная частота принимаемого радиосигнала, частота дискретизации АЦП с соответствующей ей полосой пропускания радиоприемного тракта, коэффициент усиления радиосигнала) и графически демонстрировать процессы, которые происходят в различных точках используемого модуля.

Проведена оценка функционирования разработанного лабораторного стенда. На примере приема станций аналогового и цифрового радиовещания проведены исследования спектров и осциллограмм модулированных сигналов и их параметров.

В результате сделан вывод о пригодности стенда для проведения исследований и выполнения лабораторных работ по дисциплинам «Аналоговые, аналого-цифровые БИС» и «Основы цифровой обработки сигналов».

Литература

1. **Галкин В. А.** Основы программно-конфигурируемого радио. — М.: Горячая линия — Телеком, 2013.

Секция 4

АНТЕННЫЕ УСТРОЙСТВА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Председатель секции — к.т.н., ст. преподаватель М.С. Михайлов
Секретарь секции — ассистент Е.С. Малевич

М. В. Акулов, студ.; рук. М. С. Михайлов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН В ЛЕСАХ

В настоящее время большое внимание уделяется повышению информативности радиоэлектронных систем за счет расширения рабочей полосы частот. Сложные сигналы применяются для радиозондирования земной поверхности, атмосферы, растительных сред и т. д. Задача изучения влияния различных природных сред на распространение радиоволн является актуальной. Результаты подобных исследований применяют непосредственно на практике.

Исследования и анализ взаимодействия радиоволн с различными видами рассеивателей актуальны для радиосвязи, радиолокации, радионавигации, дистанционного зондирования земных покровов и геодезических задач, решаемых радиотехническими методами. При этом существенный вклад в условия распространения радиоволн в приземном слое атмосферы вносят лесные массивы (различные виды древесины, деревья с различной диэлектрической проницаемостью, лесной массив при различных погодных условиях). Леса представляют собой случайно неоднородную диэлектрическую среду, основными структурными элементами которой являются стволы деревьев и полог, состоящий из веток и листвы и/или иголок [1].

Для решения данной задачи используют либо плоскостойкие регулярные модели леса, либо статистические модели рассеяния радиоволн, в которых используют геометрические характеристики отдельных рассеивателей. Поэтому в настоящее время актуальной задачей является накопление результатов численного моделирования, полученных для рассеивателей различной формы с разнообразными геометрическими соотношениями.

Целью данной работы является исследование особенностей рассеяния на объектах, которые по форме наиболее адекватно описывают отдельные элементы деревьев и могут в дальнейшем быть использованы как компоненты для создания более сложных моделей лесной среды. Производится сравнение результатов моделирования, выполненного в программном пакете ФЕКО, с расчетами по методу параболического уравнения [2].

Литература

1. **Башкуев Ю. Б.** Электрические свойства природных слоистых сред. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1996. — 207 с.
2. **Пермяков В. А., Михайлов М. С., Малевич Е. С.** Расчет поля методом параболического уравнения в трехмерном пространстве с учетом препятствий // Известия высших учебных заведений. Физика. — Т. 59, № 12–3. — С. 144–148.

Е. А. Бородко, студ.;
рук. М. С. Михайлов, к.т.н., ст. преп.; (НИУ «МЭИ»)

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СЛОЖНОГО СИГНАЛА МЕТОДОМ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

Известно, что в радиолокации принято использовать в качестве зондирующих сигналов сложные сигналы. Сложными называются сигналы, база которых много больше единицы [1]. Благодаря таким сигналам можно реализовать высокую разрешающую способность как по дальности, при большой длительности сигнала, так и по скорости, при широком спектре сигнала. Такие сигналы имеют сложную форму спектра, что ведет к усложнению расчета поля в каждой точке пространства.

Анализ распространения сложных сигналов можно упростить, используя принцип линейности. Типичная активная радиотехническая система (РТС), использующая сложные сигналы, состоит из блоков генерации сигналов, излучения, приема и их обработки. Электромагнитное излучение от передающей антенны к приемной распространяется в окружающей среде, которая также влияет на свойства сигналов. По большей части влияние окружающей среды линейное, с точки зрения интенсивности. Если блоки радиотехнической системы выполняют линейные операции, то результат, не зависит от расположения блоков. Результат одной линейной составляющей из блока обработки — блок фильтрации — есть сжатый сигнал в виде радиоимпульса. Если это так, то мы можем поменять местами блок фильтрации и блок, отвечающий за излучение, прием и влияние окружающей среды. Таким образом, в математической модели РТС из передающей антенны излучается радиоимпульс, с огибающей зависящей от параметров генератора сложных сигналов и его фильтрации.

В данной работе была разработана математическая модель, позволяющая рассчитать распространение сложного сигнала методом параболического уравнения, используя преобразование Фурье, как в пространственной, так и во временной области.

Литература

1. **Баскаков А. И., Жутяева Т. С., Лукашенко Ю. И.** Локационные методы исследования объектов и сред. — М.: Издательский центр «Академия», 2011.
2. **Михайлов М. С.** Расчет энергетических характеристик фазированных антенных решеток над нерегулярной земной поверхностью методом параболического уравнения: Дисс. — М.: НИУ «МЭИ», 2014.

*А. А. Чугунов, И. Р. Индриков, Н. И. Петухов, студенты;
рук. Р. С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ТОЧЕЧНАЯ ФОКУСИРОВКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Антенные решетки — это системы, способные формировать узкий луч диаграммы направленности. Энергия электромагнитного поля, формируемого антенными решетками, концентрируется вдоль линии визирования между приемником и передатчиком.

Следующим этапом развития технологий пространственной избирательности излучаемой энергии являются системы, обеспечивающие точечную фокусировку электромагнитных волн. Такие системы предполагают использование большого числа элементарных излучателей, управляемых по фазе и расположенных по периметру некой рабочей зоны. С помощью подбора начальных фаз можно добиться синфазного сложения электромагнитных волн от каждого излучателя в одной точке. В остальных точках пространства (точках фона) синфазного сложения не происходит. Таким образом, в рассматриваемой рабочей зоне формируется точечный максимум мощности электромагнитного поля (рис. 1).

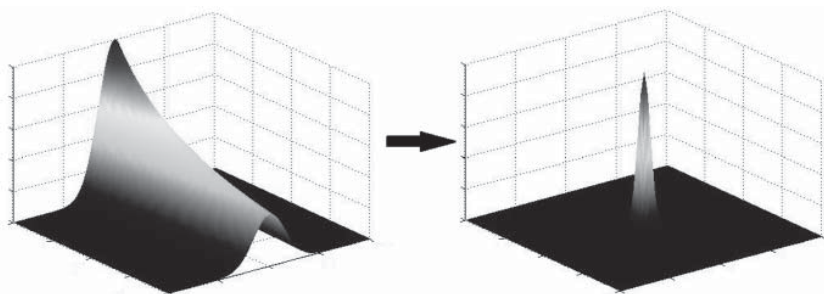


Рис. 1. Переход от формирования луча к точечной фокусировке электромагнитных волн

В результате компьютерного моделирования в пакете Matlab было сформулировано важное свойство систем точечной фокусировки электромагнитных волн, которое говорит о том, что отношение мощности максимума электромагнитного поля к мощности фона пропорционально числу используемых излучателей.

С помощью выбора числа излучателей можно получить любое необходимое отношение мощностей в зависимости от поставленных задач: передача информации, скрытая передача информации, беспроводная передача энергии.

*М. А. Дубовицкий, студ.;
рук. В. И. Гусевский, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ВЫБОР АМЛИТУДНО-ФАЗОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК С ПАССИВНЫМИ И АКТИВНЫМИ ФАЗОВРАЩАТЕЛЯМИ

В практике построения фазированных антенных решеток часто приходится сталкиваться с использованием фазовращателей, а также выбором их расположения в системе. Известен метод учета влияния фазового сдвига между элементами в линейной антенной решетке на формирование диаграммы направленности при минимальном уровне дифракционных лепестков. На примере щелевой антенной решетки с волноводным делителем мощности предлагается рассмотреть способы настройки амплитудно-фазового распределения, а также возможность использования активных фазовращателей для антенно-фидерных трактов с прохождением высокой мощности излучения.

Литература

1. **Гусевский В. И.** Фазовая характеристика и фазовый центр линейных и плоских АР // Радиотехника и электроника. — 1991. — Т. 36, № 3. — С. 433–441.

Т. К. Габидуллин, студ.;
А. А. Комаров, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ГЕОЛОКАТОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ

В наши дни активно развиваются радиолокационные методы подповерхностного зондирования. Их применяют при решении следующих задач: определение расположения подповерхностных слоев и их толщины, контроль состояния дорог, определение расположения трубопроводов и т. д.

Частотный диапазон геолокаторов обычно лежит в пределах 50...500 МГц, что является компромиссом между глубиной зондирования в единицы — десятки метров и разрешающей способностью в единицы — десятки сантиметров для реальных геологических структур.

На данном этапе выбирается тип сложного сигнала, предположительно сигнал с линейной частотной модуляцией, под него будет составлено техническое задание для расчета и построения сверхширокополосной активной фазированной антенной решетки (СШП АФАР) с применением которой, возможно будет увеличить мощность излучаемых импульсов до 30% и более. В дальнейшем, после физической реализации СШП АФАР, будет выполнен расчет и построение остальных блоков геолокатора и расчет вторичных режимов с возможностью переключения между ними и использованием других сигналов кратных главному при сохранении исходной СШП АФАР, с целью увеличения точности при необходимости.

При успешном выполнении поставленной задачи, будет расширяться область применения геолокатора, конечной целью которого подразумевается использование его в беспилотниках для обнаружения требуемых объектов, вплоть до мин в пластиковых корпусах

*А. А. Гладченко, студ.;
рук. М. С. Михайлов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПАССИВНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ НА ОСНОВЕ WI-FI В ЗДАНИИ

В работе изучаются возможности WI-FI сигналов в целях пассивной радиолокации. За основу взяты работы в которых на основе обработки сигналов WI-FI осуществляют построение голограмм [1], определение движений человека находящегося за стеной [2], определяют форму объекта находящегося в закрытом помещении [3]. Эти исследования позволяют улучшить концепцию умного дома и интернет вещей.

В следствии того что электромагнитные волны имеют свойства отражаться от различных объектов происходит интерференция волн, из этого можно получить интерференционные картины поля. При движении объекта эти картины претерпевают изменения, что позволяет распознать это движение. Помехами для определения отражения от определенного объекта являются отражения от стен как прямыми так и высших порядков, предметы с неправильными геометрическими формами, дифракционные лучи. Для учета этих факторов удобно использовать принципы геометрической оптики и геометрической теории дифракции.

Источники

1. <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.118.183901>.
2. <http://rfcapture.csail.mit.edu/>.
3. <http://www.ece.ucsb.edu/~ymostofi/3DThroughWallImaging.html>.

Н. О. Гнеушев, студ.;
рук. М. С. Михайлов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН В ГОРОДАХ

Последние десятилетия характеризуются быстрым внедрением сотовых систем подвижной связи, предназначенных для передачи подвижным абонентам телефонных сообщений и цифровых данных. В таких системах связи территория обслуживания (город, регион) делится на большое число рабочих зон, внутри которых связь между мобильными и базовыми станциями осуществляется по радиоканалу [1].

Анализ распространения радиоволн можно упростить, используя среду программирования GNU OCTAVE/MatLab и методы геометрической оптики (ГО). Для выбора наилучшего расположения антенны приходится обсчитывать разные варианты. Поэтому для расчета плотности потока мощности антенной решетки требуется оперативно определять рельеф местности или уже иметь базу данных высот для текущей местности. Для реализации определения рельефа и последующего его сохранения в базу данных была разработана программа в среде GNU OCTAVE/MatLab. С помощью этой программы удалось извлекать информацию о геометрических размерах зданий в городской застройке. Информация о положении и высотах заносится в локальную базу данных, которую можно в дальнейшем дополнять, уточнять и извлекать. Далее полученная информация использовалась в программном модуле, предназначенном для расчета распространения радиоволн в сложных реальных условиях окружающей среды на базе двумерного параболического уравнения. Данный программный модуль может быть рекомендован для расчета распространения радиоволн в городе от базовых станций для равномерного покрытия всей территории и взаимной электромагнитной совместимости.

И так в данной работе была разработана программа, позволяющая рассчитать распространение радиоволн в населенных пунктах путем интеграции API электронных карт и метода параболического уравнения в среду программирования GNU OCTAVE/MatLab.

Литература

1. **Пермяков В. А.** Лекции по геометрической оптике неоднородных сред. — М.: Изд-во МЭИ, 2013.
2. **Михайлов М. С.** Расчет энергетических характеристик фазированных антенных решеток над нерегулярной поверхностью методом параболических уравнений. Дисс. ... канд. техн. наук. — М., 2015.

Д. И. Гришаева, студ.;
рук. М. С. Михайлов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИЗУЧЕНИЕ ОТРАЖЕНИЯ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ ОТ ПОДСТИЛАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В настоящее время перед перспективными радиолокационными системами ставятся новые задачи, не решаемые в полной мере существующей аппаратурой, такие как:

- обнаружение несанкционированного нахождения на взлетно-посадочной полосе, рулежных дорожках и территории аэропорта транспортных средств (в том числе неподвижных) и людей;
- обнаружение малоразмерных летательных аппаратов и беспилотных аппаратов, в том числе несанкционированных;
- определение ориентации воздушных судов и автотранспорта относительно взлетно-посадочной полосы, стоянок самолетов и дорожек.

Не для всех элементов РЛИ при высоком пространственном разрешении, пораженных пассивной помехой от естественных подстилающих покровов, закон распределения мощности отраженного сигнала имеет один и тот же характер.

Метод межобзорного вычитания основан на предположении, что

$$T_{cp} v > c \tau_u / 2,$$

где T_{cp} — время сравнения, c — скорость света, τ_u — длительность импульса, v — скорость цели, а отраженные от помех сигналы за это время не претерпевают значимых изменений. Тогда при реализации метода межобзорного вычитания сигналы от помех будут скомпенсированы, а сигнал цели выделен.

Важными достоинствами этого метода являются:

- отсутствие «слепых» скоростей, присущих доплеровским методам селекции;
- способность обнаруживать весьма низкоскоростные цели.

В работе предлагается сравнить теоретическую модель отражения сложных сигналов от подстилающей поверхности [1] с экспериментальными данными, приведенными в статье [2].

Литература

1. **Баскаков А. И., Жутяева Т. С., Лукашенко Ю. И.** Локационные методы исследования объектов и сред. — М.: Издательский центр «Академия», 2011.
2. **Скосырев В. Н., Нуждин В. М., Ананенков А. Е., Коновальцев А. В.** Технология сверхкороткоимпульсной радиолокации — ключ к повышению информационных возможностей РЛС // Сборник 1-й Международной конференции «Сверхширокополосные сигналы и сверхкороткие импульсы в радиолокации, связи и акустике». — г. Суздаль, 27–29 сентября 2005 г. — С. 53–61.

*И. Р. Индриков, А. А. Чугунов, Н. И. Петухов, студенты;
рук. Р. С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ ТОЧЕЧНОЙ ФОКУСИРОВКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Антенные системы, осуществляющие точечную фокусировку электромагнитного поля, предполагают использование большого числа управляемых по фазе элементарных излучателей, которые расположены по периметру некой области, в которой необходимо сформировать точечный максимум. Отношение мощности в точке максимума к средней фоновой мощности зависит от числа излучателей.

Напряженность электрического поля i -го излучателя в дальней зоне обратно пропорциональна расстоянию r до излучателя и имеет линейный набег фазы [1]

$$E_i(r) \sim \frac{e^{-i(-kr + \varphi_i)}}{r}. \quad (1)$$

Путем подбора начальных фаз φ_i всех излучателей, можно добиться синфазного сложения электромагнитных волн только в одной точке (точке максимума)

$$|E_\Sigma|_{\text{макс}} = \sum_{i=1}^N |E_i| \sim N|E_i|. \quad (2)$$

В остальных точках рассматриваемой области (точках фона) сложение волн происходит со случайной фазой, поэтому за счет частичной компенсации суммарная напряженность поля будет гораздо ниже, чем в точке максимума

$$|E_\Sigma|_{\text{фон}} = \left| \sum_{i=1}^N |E_i| e^{-j\varphi_i} \right| \sim \sqrt{N}|E_i|. \quad (3)$$

С учетом того, что мощность электромагнитного поля пропорциональна квадрату электрической напряженности, можно записать

$$\frac{P_{\text{макс}}}{P_{\text{фон}}} = \left(\frac{|E_\Sigma|_{\text{макс}}}{|E_\Sigma|_{\text{фон}}} \right)^2 \sim \left(\frac{N|E_{\text{изл}}|}{\sqrt{N}|E_{\text{изл}}|} \right)^2 = N. \quad (4)$$

Таким образом, распределенная антенная система формирует точечный максимум мощности в рассматриваемой области пространства, значение которого превышает уровень средней мощности фона в число раз, прямо пропорциональное количеству используемых элементарных излучателей.

Литература

1. Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ. — М.: Высшая школа, 1988.

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

РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН В ЗДАНИИ НА ПРИМЕРЕ КОМНАТ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

В связи с широким развитием беспроводных систем связи стал актуальным вопрос: о влиянии условий распространения радиоволн (РРВ) на работу разнообразных сетей. При этом возникает ряд проблем, связанных с моделированием препятствий на пути распространения сигналов, а также в связи с многолучевым распространением сигналов и большим количеством переотражений.

На распространении сказываются стены и массивные предметы в помещении. Стены и перекрытия из дерева, синтетических материалов, стекла оказывают небольшое влияние на распространение радиоволн, препятствия из кирпича или бетона — среднее влияние. Стены из железобетона и с фольговыми утеплителями — высокое. Металлические стены и перекрытия — вплоть до полного отсутствия связи.

Интерференционный характер электромагнитного поля внутри помещений выражен более резко за счет многократных отражений от предметов. В большей части помещений можно также столкнуться с так называемыми «мертвыми зонами», в которых прием сигнала сильно затруднен, такая ситуация возможна, даже если передатчик и приемник находятся в прямой видимости. Минимум поля появляется, если длины путей распространения расходятся на нечетное количество полуволн.

Рассмотрим РРВ в помещениях Г-образной конфигурации. Геометрический подход для анализа характеристик РРВ внутри помещений, в частности, в коридорах Г-образной формы (отсутствует прямая видимость) подразумевает распространение сигнала преимущественно с многократным отражением от стен, пола и потолка. Распространение волны от передатчика возможно сквозь стены и перекрытия.

В работах [1, 2] излагается подход к построению аналитической геометрической модели РРВ в помещениях Г-образной конфигурации на основе экспериментальных данных, а также и приведены результаты исследования затухания радиосигналов. Полученная модель используется для предсказания мощности принимаемого сигнала в точке приема.

Литература

1. **Аунг Мьинт Эй** Исследование распространения радиоволн и разработка модели затухания для помещений сложной формы: Дисс... к.т.н. — М., 2008 г.
2. **Паслен В. В., Яблоков С. А.** Разработка и исследование модели затухания радиоволн для помещений сложной формы // Вестник института гражданской защиты Донбасса. — 2015. — Вып. 1 (1). — С. 57–61.

К. Ю. Кожевников, студ.;
рук. А. И. Баскаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В ЛИНЕЙНЫХ СРЕДАХ

Часто встречается следующая задача. Имеются две антенны — передающая и приемная. Антенны находятся в некоторой неоднородной линейной среде. На вход передающей антенны подается сигнал $s_{\text{вх}}(t)$. Требуется определить сигнал $s_{\text{вых}}(t)$ на выходе приемной антенны. Под линейностью среды подразумевается независимость ее свойств от амплитуды напряженности поля. При этом частотная зависимость свойств среды полагается произвольной.

Такая задача может быть решена с помощью электромагнитного компьютерного моделирования во временной области, например, в программе CST Microwave Studio [1]. Однако не для всех типов входных сигналов процесс моделирования выполняется аккуратно. Кроме того, расчет обычно занимает достаточно длительное время.

В докладе предлагается методика расчета, позволяющая упростить процесс моделирования в том случае, когда имеется несколько различных входных сигналов и требуется найти соответствующие им выходные сигналы при неизменной геометрии задачи. В соответствии с этой методикой достаточно выполнить электромагнитное моделирование только один раз для одного входного сигнала $s_{\text{вх1}}(t)$. В качестве такого сигнала выбирается гауссов видеоимпульс [2] определенной длительности. Его амплитудный спектр нигде не обращается в ноль, а лишь асимптотически стремится к нулю при увеличении частоты.

Результатами электромагнитного моделирования во временной области являются последовательности отсчетов входного $s_{\text{вх1}}[k]$ и выходного $s_{\text{вых2}}[k]$ сигналов. Вычисляя ДПФ этих последовательностей и выполняя почленное деление, находим последовательность $H[n]$, соответствующую комплексной передаточной функции системы.

Для других входных сигналов выходные сигналы могут быть найдены обычными методами теории линейных цепей [2], не прибегая к электромагнитному моделированию.

Литература

1. **Курушин А. А.** Проектирование СВЧ-устройств в среде CST Microwave Studio: учебное пособие по курсу «Автоматизированное проектирование систем и устройств» по направлению «Радиотехника». — М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
2. **Баскаков С. И.** Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов по специальности «Радиотехника». — М.: Высшая школа, 2000.

Е. С. Малевич, асп.; рук-ли В. А. Пермяков, д. ф.-м. н., проф.;
М. С. Михайлов, к. т. н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН НАД ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ С УЧЕТОМ СЛОЖНОГО РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

Влияние неровностей земной поверхности на распространение радиоволн (РРВ) многие десятилетия является актуальной темой исследований и стимулируется важными практическими задачами, связанными с работой различных типов связи, радиолокацией, радионавигацией, дистанционным зондированием земной поверхности. В качестве неровностей земной поверхности могут выступать холмы, овраги, лесная растительность, здания.

В связи со сложностью построения теоретических моделей РРВ в лесу насчитывается огромное количество работ по экспериментальному определению уровня затухания радиоволн в лесном массиве с различными вариациями расположения приемной и передающей антенн. Одними из первых фундаментальных работ, посвященных исследованию РРВ в лесу, были работы Т. Tamir [1], в которых была принята трехслойная модель, где лес аппроксимируется изотропным поглощающим слоем.

Данная работа посвящена моделированию РРВ на трассах, содержащих лесные массивы и другие неровности земной поверхности, с использованием электродинамического подхода. Моделирование выполнялось для четырехслойной модели, где лес представлен слоями полого и стволов с эффективными диэлектрическими проницаемостями. Расчет распространения радиоволн в лесу проводится с помощью метода параболического уравнения, подробно изложенного в монографии М. Levy [2]. При моделировании особое внимание уделяется заданию формы лесного полого [3]. Исследуются разнообразные механизмы распространения радиоволн, в том числе боковой волны по границе раздела сред «воздух — лесной полог» [4]. Анализируется распределение поля с учетом сложного рельефа местности.

Литература

1. **Tamir T.** On radio-wave propagation in forest environments // IEEE Trans. on Antennas and Propagation. — 1967. — Vol. 15, No. 6. — P. 806–817.
2. **Levy M.** Parabolic Equation Method for Electromagnetic Waves Propagation. — L.: IEE, 2000. — 336 p.
3. **Permyakov V. A., Mikhailov M. S., Malevich E. S.** Calculation of the Radar Station Field in 3D Space in the Presence of Forest and Other Obstacles by the Method of Parabolic Equation // Progress In Electromagnetics Research Symposium Abstracts. — St. Petersburg, 22–25 May 2017. — P. 1800.
4. **Mikhailov M. S., Permyakov V. A., Malevich E. S.** Calculation by the Method of Parabolic Equation in Three-dimensional Space with Obstacles // Rus. Phys. J. — 2016. Vol. 59, N 12–3. — P. 144–148.

*А. В. Петарчук, А. А. Волкова, студенты;
рук. М. С. Михайлов, к. т. н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАМАТЕРИАЛОВ ПРИ СОЗДАНИИ «ШАПКИ-НЕВИДИМКИ»

В работе исследуется возможность создания «шапки-невидимки» с использованием метаматериалов.

Метаматериалом называют многокомпонентный материал, обладающий электромагнитными или акустическими свойствами, труднодостижимыми технологически, либо не встречающимися в природе. Для создания «шапки-невидимки» необходимо создание материала с отрицательным показателем преломления. Это достигается при отрицательных значениях диэлектрической проницаемости и магнитной восприимчивости.

Достижения отрицательного показателя преломления осуществляется при помощи среды в виде массива маленьких идентичных антенн-ячеек, изображенных на рис. 1. Непрерывный провод, проходящий сквозь все ячейки, отвечает за отрицательное значение диэлектрической проницаемости, а пара С-образных антенн, вложенных друг в друга, за отрицательное значение магнитной восприимчивости.

Чтобы скрыть объект, недостаточно создания среды с отрицательным коэффициентом преломления. Для реализации «шапки-невидимки» в микроволновом диапазоне можно использовать набор из десяти вложенных цилиндров, состоящих из одинаковых антенн-ячеек. Из-за различных радиусов кривизны цилиндров возникает градиент коэффициента преломления, поэтому электромагнитная волна огибает объект, расположенный в центре.

В работе проведен расчет распространения радиоволн через такие цилиндры в пакете программ электродинамического моделирования.

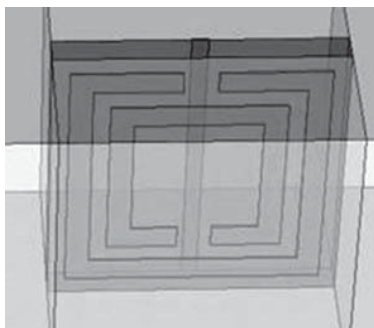


Рис. 1. Антенна-ячейка с двумя вложенными С-антеннами

Литература

1. **Каку М.** Физика невозможного. — М.: Альпина Пабlishер, 2009.

М. В. Филиппов, студ.;
рук. М. С. Михайлов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТЕОДАТЧИКОВ

В вакууме луч распространяется линейно и равномерно. Пусть радиолокационная станция (РЛС) обладает достаточной энергетикой. Пусть также она расположена вблизи поверхности земли и работает по наземным или надводным целям. Тогда дальность действия такой РЛС над сферической поверхностью Земли полностью определяется высотами расположения антенны и цели. В нормальной тропосфере дальность действия немногим увеличивается из-за рефракции в тропосфере. Примерно на 30%.

Но все меняется при наличии инверсии метеопараметров.

Наличие такой тропосферной инверсии способствует образованию волноводных механизмов распространения радиоволн (РРВ). Обычно слои с таким распространением называют тропосферными волноводами. У поверхности моря могут образовываться волновод испарения и приповерхностный волновод. Дальность действия РЛС в таких волноводах может увеличиваться в десятки раз [1].

Механизм РРВ в разных волноводах различаются. Для правильного определения целей необходимо знать, в каком тропосферном волноводе распространяется волна и его параметры. Одним из способов определения параметров волновода может служить вертикальный градиент показателя преломления, вычисленный по измеренным метеопараметрам.

Для определения индекса показателя преломления воздуха хотя бы с точностью 1 N-единиц необходимо иметь следующую точность датчиков: 0,7% влажность, 1°C температура и 0,1 гПа давление [2]. Современные датчики не могут обеспечить такую точность. Например, датчик ВМЕ280 фирмы Bosh имеет погрешность измерения влажности — 3%.

В работе производится попытка повышения точностных характеристик нескольких метеодатчиков за счет вычисления статистической ошибки относительно среднего значения измерений.

Литература

1. **Пермяков В. А., Михайлов М. С., Махалов А. М.** Ограничения дальности действия радиосистем в волноводе испарения // Известия высших учебных заведений. Физика. — 2016. — Т. 59, № 12–3. — С. 140–144.
2. **Михайлов М. С., Лобанов А. В., Пермяков В. А., Реганов В. М.** Определение индекса преломления тропосферы по измерениям метеопараметров на БПЛА // Сб. докладов V Всероссийской микроволновой конференции. — 2017, Москва ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, 29 ноября — 1 декабря. — С. 119–123.

А. М. Рудаков, студ.;
рук. М. С. Михайлов, к. т. н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА БАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЛНОВОДНОГО ТРАКТА САМОЛЕТНОЙ РЛС

Неотъемлемыми составными частями современных радиотехнических средств являются антенные системы и обслуживающие их тракты СВЧ.

С развитием современной авиации (скоростей самолетов, дальности действия и их вооружения, понижение эффективной площади рассеяния целей) необходимо повысить дальность обнаружения целей, в связи с чем повышается мощность передатчика.

Увеличение передаваемой мощности влечет за собой увеличение ее расхода на нагрев элементов тракта как за счет активных потерь, определяемых поверхностным сопротивлением стенок волноводов, так и диссипативными потерями, обусловленными отражениями от неоднородностей (функциональными элементами, изгибами, обусловленными маленькими габаритами отсека в носу самолета).

Таким образом, актуальность данной работы связана с разработкой и исследованием базовых волноводных устройств для передачи высокого уровня мощности от передатчика к антенне с минимальными потерями [1]. Необходимо согласовывать волноводные устройства в составе волноводного тракта, и как можно снизить уровень отражений до минимально возможного.

Получены соотношения размеров фазового циркулятора и проведен выбор конструкции вращающегося перехода [2].

Полученные результаты проверены в программе Graphit 2.5 и смоделированы в программе HFSS с учетом различного конструктивного выполнения.

Получено положительное решение по заявке на полезную модель — конструкция щелевого моста на П-образном волноводе.

Литература

1. **Харвей А. Ф.** Техника сверхвысоких частот // Советское радио. — 1965. — Т. 1.
2. **Труш О. И.** Исследование ферритового фазового циркулятора. — НИИП им. В. В. Тихомирова, 1998.

А. Ю. Сорокин, студ.;
рук. А. А. Комаров, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ИОНОСФЕРЫ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ СИГНАЛОВ ПРИ МНОГОПОЗИЦИОННОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

Одной из важнейших задач радиомониторинга является повышение надежности работы радиосистем, использующих в своем составе линии связи с постоянно меняющимися характеристиками. Именно такая ситуация характерна для радиотехнических систем (РТС) декаметрового диапазона радиоволн (дальней радиосвязи, загоризонтной радиолокации, радиопеленгации и радионавигации), радиосигналы которых распространяются в ионосфере Земли, подверженной постоянным пространственно-временным вариациям, и принимаются на фоне комплекса изменяющихся помех. Игнорирование или слабый учет изменчивости во времени и пространстве характеристик ионосферных радиоканалов существенно снижает информационно-технические параметры РТС (помехоустойчивость, надежность, скрытность, скорость передачи информации, мощность излучения и др.) и представляет собой общую проблему как для существующих, так и для создаваемых систем.

Задачей данной работы является теоретический анализ прохождения непрерывного ЛЧМ сигнала в ионосфере с учетом взаимодействия сигналов со средой распространения и влияния комплекса помех на радиотехнические характеристики зондирующих сигналов на выходе системы их сжатия в частотной области [1].

Литература

1. **Baskakov A. I., Komarov A. A., Mikhailov M. S., Permyakov V. A.** Influence of the ionosphere and the troposphere on the propagation of radio waves in the detection of space debris objects using multi-position radar system // Proceedings of the 39th Progress In Electromagnetics Research Symposium. — Singapore, 19–22 November 2017.

Е. А. Тарасов, асп.; рук-ли В. А. Пермяков, д. ф.-м. н., проф.;
А. С. Кондратьев, к. т. н., с. н. с. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХМОДОВЫХ КОНИЧЕСКИХ РУПОРНЫХ АНТЕНН

Во многих случаях основными требованиями, предъявляемыми к форме диаграммы направленности (ДН) конической рупорной антенны, являются: осевая симметрия в E и H плоскостях и малая утечка энергии вне пределов главного лепестка (достигаемая снижением уровня боковых лепестков (УБЛ) ДН), а также четко выраженное положение центра излучения в ортогональных плоскостях. Однако стандартные конические рупорные антенны с гладкими стенками, возбуждаемые низшей собственной волной круглого волновода, имеют неосесимметричную ДН и разные координаты центров излучения в плоскостях E и H , что может отрицательно сказаться на характеристиках радиотехнических систем, содержащих такие антенны. Существует несколько модификаций конических рупорных антенн, удовлетворяющих данным требованиям. Среди них широко распространенными являются: двухмодовый рупор, предложенный в 1963 г. П. Поттером [1], в котором осесимметричная ДН формируется путем введения в полость рупора специально подобранной неоднородности, возбуждающей вторую собственную волну конического рупора, а также рупор, являющийся модификацией двухмодового рупора Поттера с упрощенной конструкцией неоднородности, который был предложен С. П. Скобелевым в 2001 г. [2]. Однако авторы вышеупомянутых модификаций конического рупора не указывают, каким способом происходит симметрирование ДН: возникает ли АФР требуемого вида в области неоднородности внутри рупора и затем переносится в апертуру или формируется непосредственно в апертуре путем подбора параметров неоднородности, что важно для упрощения расчета таких антенн.

Целью докладываемой работы является исследование механизма симметрирования ДН в рупорах Поттера и Скобелева путем численного анализа характеристик таких рупорных антенн. Приводятся результаты сравнения характеристик данных антенн с характеристиками гладкого конического рупора.

Литература

1. **Potter P.D.** A new horn antenna with suppressed sidelobes and equal beamwidths // *Microwave J.* — 1963, June. — N 6. — P. 71–78.
2. **Skobelev S.P. et al.** Optimum Geometry and Performance of a Dual-Mode Horn Modification. — *AP-Mag*, 2001.

А. В. Толстопятова, асп.;
рук. Ф. Н. Шакирзянов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЗАЩИТА РАБОЧИХ И ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ОТ НАРУЖНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Мощность излучения базовых станций сотовой связи (эквивалентная изотропно-излучаемая мощность) достаточно велика и в диапазоне частот от 850 до 2100 МГц при направленном сочетанном действии может достигать сотен ватт. В таких условиях, при норме предельно допустимой плотности потока энергии для указанного диапазона частот, равной 10 мкВт/см^2 [1], наиболее чувствительные системы организма человека подвергаются биологическому воздействию электромагнитного излучения.

Обеспечение решения задач поглощения электромагнитной энергии осуществляется посредством использования материалов с необходимыми физико-механическими свойствами и с возможно меньшим коэффициентом отражения. К их числу относят как используемые в строительстве изоляционные материалы (пенопласт, минеральная вата, эластичный пенополиуретан и пр.), так и композиционные материалы специального назначения с использованием наполнителей: асбеста, стекловолокна, слюды, окиси титана, углерода, окиси железа.

Эффективность применяемых материалов исследуется с помощью экспериментов, позволяющих измерить степень ослабления электромагнитного излучения в диапазоне частот базовых станций сотовой связи. Устанавливаются основные зависимости и рекомендации по достижению допустимых уровней воздействия электромагнитного излучения (ЭМИ) на человека.

Рассматривается проблема комплексного подхода к защите персонала промышленных предприятий и населения от ЭМИ базовых станций сотовой связи, обеспечивающей минимизацию негативного воздействия на организм человека.

При этом формулируются наиболее эффективные способы решения проблемы, заключающиеся в предложении конкретных видов защиты, таких, как использование существующих конструкционных материалов с особыми поглощающими и отражающими свойствами, а также придание существующим, предназначенным для иных целей, материалам желаемых защитных свойств.

Литература

1. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов».

Б. Г. Удальцов, студ.;
рук. А. А. Комаров, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СИНХРОНИЗАЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ САД-ПРОГРАММ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ УСТРОЙСТВ СВЧ

Сегодня трудно представить разработку любого устройства не прибегнув к помощи компьютера. Существует огромное многообразие САД-программ для решения практически любой задачи. Каждая программа работает по своему собственному алгоритму, в связи с этим выбор оптимальной среды одна из основных задач при моделировании нового устройства.

В данной работе рассматривается процесс создания СВЧ генератора и усилителя на отечественных транзисторах с использованием различных сред моделирования: CST, Ansoft HFSS, Ansoft Serenade, Advanced Design System. Также показано, как синхронизировать между собой различные САД-программы для достижения оптимального результата. Примеры СВЧ генератора и усилителя представлены на рис. 1.

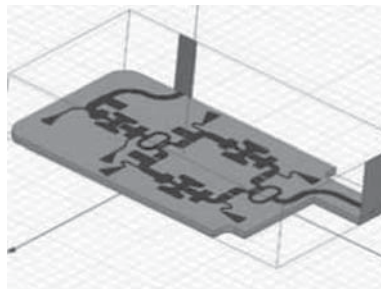
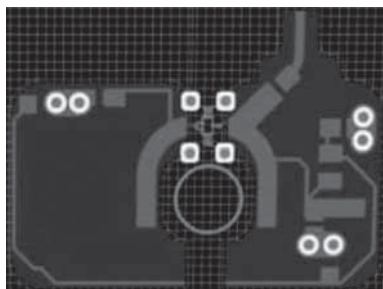


Рис. 1. Модели рассматриваемых устройств

По результатам моделирования будет проведен сравнительный анализ параметров заданного устройства с реальными.

А. А. Волкова, студ.;
рук. М. С. Михайлов, к.т.н., ст. преп.; (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ОБРАТНОГО ОТРАЖЕНИЯ ОТ СЛОЖНЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ЦЕЛЕЙ НА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИИ ВОЛНОВОДА ИСПАРЕНИЯ МЕТОДОМ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

В условиях нормальной тропосферы максимальная дальность действия радиолокатора по надводным целям не может превышать радиогоризонт. Над морской поверхностью возможно образование тропосферных волноводов. Различают волновод испарения, приповерхностный приподнятый волноводы. Приподнятый волновод располагается на высотах порядка 5 км и на работу радиолокатора по надводным целям практически не влияет. Волновод испарения находится непосредственно над поверхностью воды, а его высота может составлять 50 м. Слои инверсии метеорологических параметров в приподнятых волноводах располагаются до одного километра, одновременно может существовать нескольких таких слоев. Наибольшее влияние на распространение радиоволн оказывают нижние волноводы — волновод испарения и нижний приповерхностный слой.

Тропосферные волноводы оказывают влияние на распространение радиоволн как в одном направлении, от локатора до цели, так и в обратном, от цели до локатора. На отражение от целей также влияют ее размеры и параметры морского волнения.

В работе была построена математическая модель, позволяющая произвести расчет отраженного поля от целей и морской поверхности методом параболического уравнения.

Принцип действия модели заключается в построении феноменологической модели. Морская поверхность и цель, ограниченные длительностью элемента разрешения локационной станции, разбивается на независимые отражатели, которые называются светящими точками [1] с локальной диаграммой рассеяния. После происходит суммирование отраженного поля от каждой светящей точки и расчет распределения поля в точке приема методом параболического уравнения [2].

Литература

1. **Баскаков А. И., Жутяева Т. С., Лукашенко Ю. И.** Локационные методы исследования объектов и сред. — М.: Издательский центр «Академия», 2011.
2. **Михайлов М. С.** Расчет энергетических характеристик фазированных антенных решеток над нерегулярной земной поверхностью методом параболического уравнения: Дисс. — М.: НИУ «МЭИ», 2014.

Секция 5

РАДИОЛОКАЦИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Председатель секции — к. т. н., ст. преподаватель А. А. Комаров
Секретарь секции — аспирант А. В. Рубан

А. А. Альсихова, студ.;
рук. А. П. Брюховецкий, к. ф.-м. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ПО ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДИК И АЛГОРИТМОВ СЖАТИЯ ВИДЕО- И ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ

В настоящее время проявляется большой интерес к различным методам обработки и сжатия цифровых изображений и видеоданных. Это связано с развитием таких отраслей науки и техники, как цифровое телевидение, компьютерная графика, правоохранительная деятельность и др. где информация имеет характер подвижных или неподвижных изображений [1]. При этом различные видеопотоки необходимо хранить и передавать по каналам передачи информации с ограниченной пропускной способностью. Поэтому необходимо применять различные эффективные алгоритмы сжатия цифровых изображений, видеоданных и телевизионных сигналов, с целью экономии места на физических носителях информации и снижения требований к используемым каналам передачи информации. Представляется целесообразным изучать механизмы компрессии, анализировать алгоритмы и параметры сжатия, изучать разработанные стандарты по сжатию видеоинформации [2]. Для закрепления знаний студентов по этим вопросам необходимо разработать лабораторную работу, дающую представление о современном состоянии видео- и аудиокомпрессии.

В лабораторной работе предполагается использовать программу MATLAB, позволяющую визуализировать и представлять результаты в оптимальном виде, для изучения параметров предполагается использовать различные алгоритмы компрессии аудио- и видеоинформации. Студентам будет предложено самостоятельно провести сравнительный анализ алгоритмов и получить характеристики сжатия. Для лабораторной работы будут разработаны описание, методика ее проведения и порядок выполнения, контрольные вопросы и материалы, необходимые для домашней подготовки. При проведении лабораторной работы студент получит наглядное представление о сжатии подвижных или неподвижных изображений.

Литература

1. Серов А. В. Эфирное цифровое телевидение DVB-T/H. — СПб.: БХВ-Петербург, 2010.
2. Дворкович А. В., Дворкович В. П. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика). — М.: Техносфера, 2012.

*Е. Д. Барабаш, студ.; рук. А. И. Баскаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»),
рук. С. В. Карацан к.т.н. (АО НИИП им. В. В. Тихомирова,
Жуковский)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОШИБОК, ВЫЗВАННЫХ МНОГОЛУЧЕВЫМ РАСПРОСТРАНЕНИЕМ, НА РАБОТУ РЛС

Вследствие влияния отражающей поверхности однолепестковая диаграмма направленности РЛС в вертикальной плоскости превращается в многолепестковую, что приводит к уменьшению точности измерения угла места [1]. Переотраженные земной поверхностью сигналы векторно суммируются с сигналами прямого луча, вызывают колебания амплитуды и фазы входного сигнала антенны и не могут быть отделены обычными способами от сигналов, отраженных от низколетящей цели. При малых углах места, когда значительная часть антенного луча облучает земную (водную) поверхность, угломестные ошибки становятся недопустимо большими. В таких условиях при сопровождении целей с малыми углами места наряду с реальной целью радиолокатор наблюдает ее зеркальное отображение («антипод»). Реальная цель и ее антипод образуют двухточечную цель с изменяющимися отношениями фаз и амплитуд сигналов от этих двух источников. При величинах углов, меньших некоторого критического угла, когда переотраженный и прямой сигналы совпадают по фазе, антенна резко устремляется к нулевому углу места [2].

Поэтому нельзя рассчитывать на получение достоверных данных по углу места, если главный луч РЛС направлен над земной поверхностью в пределах диапазона углов места, равного ширине диаграммы направленности. В худшем случае зеркальное отражение радиолокационного сигнала от земной поверхности, попадая в приемную систему РЛС, обрабатывается в качестве истинного сигнала от цели и вызывает срыв сопровождения [3].

В данной работе представлен алгоритм, позволяющий отличить сигнал, отраженный от низколетящей цели, от сигнала антипода. Разработанный алгоритм реализован в программной среде MATLAB.

Литература

1. **Леонов А. И., Фомичев К. И.** Моноимпульсная радиолокация. — М.: Радио и связь, 2013.
2. **Бартон Д., Вард Г.** Справочник по радиолокационным измерениям, под ред. М. М. Вейсбейна. — М.: Советское радио, 1976.
3. **Дудник П. И., Кондрагенов Г. С.** Авиационные радиолокационные комплексы и системы. — М.: ВВИА имени проф. Н. Е. Жуковского, 2006.

А. А. Гладков, студ.; А. А. Комаров, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА С ПОМОЩЬЮ ГЕОРАДАРОВ

В связи с активным развитием региона Арктики, которому поспособствовали идеи о Северном морском пути, а также в связи с обнаружением полезных ископаемых подо льдами Северного Ледовитого океана и увеличением военного присутствия России в данном регионе стоит задача более подробно исследовать льды этой местности, которую частично можно решить, применяя георадары для определения толщины покрова и его состава. К тому же большая часть водоемов на территории России в течение холодного времени года покрывается льдом [1], поэтому данная задача применима и к континентальной части страны.

Частотный диапазон локатор ледяного покрова лежит в диапазоне от 5 МГц до 2 ГГц. Такой широкий диапазон объясняется более низким затуханием при распространении радиоволн во льдах, который и позволяет использовать такие диапазоны частот.

Речь пойдет об общих принципах работы георадаров, о возможных методах подповерхностного зондирования (метод импульсного излучения волн, метод непрерывного излучения радиоволны с частотной модуляцией [2]) и о применении вышеупомянутых инструментов в целях решения задачи измерения толщины ледяного покрова. Более того, в этом докладе будут приводиться некоторые исследования поверхности и толщины льда с применением георадаров с соответствующими методами их применения.

При успешном выполнении поставленной задачи область применения георадара будет расширяться, как и применение данных радаров при изучении ледяного покрова.

Литература

1. Семейкин Н. П., Монахов В. В., Зверев Е. О., Еременко А. В. Георадиолокационные исследования пресных речных льдов. Измерение толщины льда // Конференция «Георадар-2004».
2. Баскаков А. И., Жутяева Т. С., Лукашенко Ю. И. Локационные методы исследования объектов и сред: Учебник для вузов. — М.: Академия, 2011.

А. С. Гогенко, студ.; рук. А. П. Брюховецкий, к. ф. -м. н. (НИУ «МЭИ»)

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ

В настоящее время проблемы, связанные с взаимным позиционированием объектов, встречаются повсеместно. В рамках общей задачи определения относительных координат существует частный подраздел, посвященный оптическому методу позиционирования удаленного объекта относительно некоторой базовой системы координат.

Данная методика, в соответствии с оптическим методом, предполагает размещение точечного источника света (ТИС) в рабочей точке удаленного и подвижного объекта. Контрольным элементом базовой системы координат (БСК) предполагается использовать фотоприемное устройство на ПЗС-матрице (цифровую фотокамеру). Перемещение удаленного объекта будет контролироваться по перемещению центра тяжести изображения ТИС на БСК. Цифровая обработка информации о засветке с получением необходимых координат будет реализована на ПЛИС.

В рамках доклада речь пойдет о разработке программной реализации известного алгоритма определения относительных координат исследуемого объекта относительно неподвижного фотоприемного устройства, представленного в [1]. Будет проведен также сравнительный анализ вариантов реализации алгоритма вычислений на ПЛИС и МК. Предполагается включить в рассмотрение анализ не только линейных перемещений удаленного объекта, но и варианты, включающие поворот объекта в его системе координат.

Литература

1. **Брюховецкий А. П., Усс М. О., Третьяков В. Н.** Субпиксельное позиционирование в задачах контроля и слежения // Вестник МЭИ. — 2012. — № 5.

*В. С. Горячкин, студ.; рук. А. И. Баскаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»),
рук. В. И. Гриднев к.т.н. (АО НИИП им. В. В. Тихомирова,
Жуковский)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ СФОКУСИРОВАННЫХ АНТЕНН

При разработке различных устройств часто возникает необходимость узнать электрофизические параметры диэлектрических и радиопоглощающих материалов. Это особенно актуально при разработке радиопрозрачных обтекателей РЛС летательных аппаратов. Существует множество методов определения таких параметров. Все они опираются на ту или иную математическую модель прохождения электромагнитной волны через слой диэлектрика [1]. Локально плоскую волну можно создать с помощью сфокусированной антенны, так как в ее фокусе небольших размеров волна является локально плоской.

В нашем методе используется модель прохождения плоской электромагнитной волны через плоский слой однородного изотропного диэлектрика. По измеренным комплексным значениям коэффициентов прохождения P и отражения G решается обратная задача определения составляющих диэлектрических ϵ' , ϵ'' и магнитных μ' , μ'' проницаемостей путем численного решения системы нелинейных уравнений в среде Matlab. [2]

Литература

1. **Никольский В. В.** Электродинамика и распространение радиоволн. — М.: Наука, 1973.
2. **Калашников В. С.** Системы испытаний и диагностирования радиотехнического качества антенных обтекателей на этапах их проектирования и изготовления: Дисс. ... д-ра тех. наук. — СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 1999.

И. М. Ибодулаев, студ.;
рук. А. П. Брюховецкий, к. ф.-м. н., доц. (НИУ МЭИ)

БРЭГГОВСКИЕ РЕШЕТКИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

Потребность в датчиках стремительно растет в связи с бурным развитием автоматизированных систем контроля и управления, внедрением новых технологических процессов, переходом к гибким автоматизированным производствам. Волоконно-оптические датчики обладают высокой надежностью, долговечностью, стабильностью, малыми габаритами, массой и энергопотреблением, совместимостью с микроэлектронными устройствами обработки информации при низкой трудоемкости изготовления и небольшой стоимостью. Такой датчик одновременно может содержать информацию об изменяющихся во времени и пространстве фазе, амплитуде, длине волны и поляризации.

Брэгговские решетки в настоящее время широко используются в оптических волокнах и планарных световодах для уплотнения каналов по длине волны, оптической фильтрации сигналов, как резонаторные зеркала в волоконных и полупроводниковых лазерах, как сглаживающие фильтры в оптических усилителях, для компенсации дисперсии в магистральных каналах связи. Другой областью применения волоконных брэгговских решеток является использование их в различных измерительных системах, контролирующих параметры окружающей среды, такие как: температура, влажность, давление, деформация, содержание химических веществ. У них превосходная чувствительность, они компактны и допускают плотную компоновку, а в перспективе имеют низкую себестоимость и высокую надежность.

Прорабатывается методика экспериментальной разработки схемы датчика микроперемещений на брэгговских решетках и алгоритм снятия результатов микроперемещений.

Литература

1. **Лиюкумович Л. Б.** Волоконно-оптические интерферометрические измерения. Ч. 1. Волоконно-оптические интерферометры. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. — 110 с.
2. **Варжель С. В.** Волоконные брэгговские решетки. — СПб.: Университет ИТМО, 2015. — 65 с.

К. Ю. Кожевников, студ.;
рук. А. И. Баскаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В ЛИНЕЙНЫХ СРЕДАХ

Часто встречается следующая задача. Имеются две антенны — передающая и приемная. Антенны находятся в некоторой неоднородной линейной среде. На вход передающей антенны подается сигнал $s_{\text{вх}}(t)$. Требуется определить сигнал $s_{\text{вых}}(t)$ на выходе приемной антенны. Под линейностью среды подразумевается независимость ее свойств от амплитуды напряженности поля. При этом частотная зависимость свойств среды полагается произвольной.

Такая задача может быть решена с помощью электромагнитного компьютерного моделирования во временной области, например, в программе CST Microwave Studio [1]. Однако не для всех типов входных сигналов процесс моделирования выполняется аккуратно. Кроме того, расчет обычно занимает достаточно длительное время.

В докладе предлагается методика расчета, позволяющая упростить процесс моделирования в том случае, когда имеется несколько различных входных сигналов и требуется найти соответствующие им выходные сигналы при неизменной геометрии задачи. В соответствии с этой методикой достаточно выполнить электромагнитное моделирование только один раз для одного входного сигнала $s_{\text{вх}1}(t)$. В качестве такого сигнала выбирается гауссов видеоимпульс [2] определенной длительности. Его амплитудный спектр нигде не обращается в нуль, а лишь асимптотически стремится к нулю при увеличении частоты.

Результатами электромагнитного моделирования во временной области являются последовательности отсчетов входного $s_{\text{вх}1}[k]$ и выходного $s_{\text{вых}2}[k]$ сигналов. Вычисляя ДПФ этих последовательностей и выполняя почленное деление, находим последовательность $H[n]$, соответствующую комплексной передаточной функции системы.

Для других входных сигналов выходные сигналы могут быть найдены обычными методами теории линейных цепей [2], не прибегая к электромагнитному моделированию.

Литература

1. **Курушин А. А.** Проектирование СВЧ-устройств в среде CST Microwave Studio: учебное пособие по курсу «Автоматизированное проектирование систем и устройств» по направлению «Радиотехника». — М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
2. **Баскаков С. И.** Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов по специальности «Радиотехника». — М.: Высшая школа, 2000.

М. П. Панюков, студ.; рук. В. Н. Третьяков, к.т.н. доцент (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО КУРСУ «ОСНОВЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ И ВИДЕОТЕХНИКИ. НЕЛИНЕЙНЫЙ МОНТАЖ» ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММЫ MOVAVI И РАБОТА С КАМКОРДЕРОМ JVC GY-NM790U

Для создания видеофайлов (фильмов, новостных эфиров, репортажей) в современном телевидении используется камкордер. Материал, отснятый камкордером, обрабатывается в специальных студиях, которые занимаются нелинейным монтажом (NLE) [1].

В настоящее время студийный нелинейный монтаж не требует использования большого количества техники. Для реализации NLE достаточно использовать программы для персонального компьютера, в которых будет осуществляться монтаж видео- и аудиоматериалов [2].

Обучению основ видео монтажа и работе видеооператоров посвящена разрабатываемая лабораторная работа по курсу «Основы телевидения и видеотехники».

В работе представлена разработка руководства к лабораторной работе, включающей цель работы, теоретические указания и пошаговая инструкция по работе со световым оборудованием, камкордером и программой по нелинейному монтажу. Кроме того, руководство включает в себя задания, которые необходимо выполнить студентам при подготовке к лабораторной работе и в лаборатории, также приведена техника безопасности при работе с аппаратурой.

Описание лабораторной работы включает задания соответствующие разработанной методике исследований с подробными объяснениями действий работы видеооператора и видеомонтажера. Отснятые видеоматериалы переносятся на персональный компьютер, где при помощи специальной программы производится нелинейный монтаж. В завершении лабораторной работы оценивается качество работы каждой бригады и соответствие параметров видеофайла с заданием лабораторной работы.

Литература

1. **Цвешко С. Ю.** Системы нелинейного монтажа. Прошлое, настоящее, будущее // Научно-технический журнал. — 2010. — Т. 625, № 10.
2. **Шевелев Г. А.** Управление контентом в телевидении. — ВШЭ, 2007.

А. В. Рубан, асп.; рук. А. И. Баскаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОБЗОР РАДИОЛОКАЦИОННЫХ АНТЕННЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Космическая радиолокация представляет собой метод исследования объектов космического пространства с использованием наземных радиолокаторов. К группе объектов, постоянно доступных для радиолокационных исследований, кроме Луны и искусственных спутников, относится также орбитальный «космический мусор» (КМ), в основном группирующийся на низких и средневысотных орбитах, а также в области геостационарного кольца.

Удобным в космических радиолокационных исследованиях оказался полноповоротный параболический рефлектор. Такие антенны можно направлять в любую точку неба и осуществлять с их помощью слежение за радиоисточником — «копить» сигнал, что позволяет повысить чувствительность телескопа и выделить на фоне шумов слабые космические радиосигналы. Однако, чтобы зеркало радиотелескопа четко фокусировало радиоволны, отклонения поверхности от идеальной не должны превышать одной десятой длины волны. Изготовить большое зеркало с такой поверхностью — серьезная техническая проблема.

Возросшие требования к характеристикам космических РЛС привели к тому, что необходимо разрабатывать новые подходы и принципы функционирования таких систем. Одно из новых перспективных направлений развития — переход от однопозиционных систем к многопозиционным, т.е. к системам, состоящим из разнесенных в пространстве передающих и приемных антенн или однопозиционных РЛС, совместно ведущих наблюдение одного объекта [1].

За последнее десятилетие было построено несколько крупных многоантенных интерферометров, называемых еще системами апертурного синтеза [2]. Они позволяют уже сейчас организовывать совместную работу по слежению за астероидами, метеоритами и прочими, обработавшими свой срок объектами и их фрагментами, называемыми КМ.

В данной работе произведен обзор видов многопозиционных РЛС, задач радиолокационного мониторинга, а также существующих и планируемых радиоинтерферометров на базе многоантенных полей.

Литература

1. **Бакулев П. А.** Радиолокационные системы. Учебник для вузов. — М.: Радиотехника, 2004.
2. **Томпсон Р., Моран Дж., Свенсон Дж.** Интерферометрия и синтез в радиоастрономии / Пер. с англ. — М.: Мир, 1989.

*А. В. Щербинин, студ.; рук. А. И. Баскаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»),
рук. В. И. Гриднев к.т.н. (АО НИИП им. В. В. Тихомирова,
Жуковский)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕРКИ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА АНТЕННЫХ ОБТЕКАТЕЛЕЙ

Эффективность функционирования радиолокационных станций, устанавливаемых на подвижных объектах зависит от радиотехнического качества антенных обтекателей (АО), обязательного атрибута РЛС [1].

Проблемы разработки и производства современных обтекателей связаны с тем, что необходимо создать высокопрозрачную радиопрозрачную конструкцию, поверхности которой имеют двойную кривизну и представляют собой многослойные стенки из чередующихся слоев диэлектрика и сот [2], толщины которых должны выдерживаться на криволинейных поверхностях с высокой точностью. Для получения качественных обтекателей необходимо контролировать радиотехнические параметры, т. е. измерять коэффициент прохождения. Отсюда возникает потребность неразрушающего контроля радиотехнического качества АО.

В данной работе предлагается установка, использующая сфокусированные антенны, для измерения коэффициентов прохождения и отражения от АО и отдельных его фрагментов. Достоинство данной системы в том, что в фокусе зеркала электромагнитное поле имеет характер локально плоской волны, что позволяет сравнивать полученный коэффициент прохождения с расчетным случаем для плоской волны. Параметры данной установки оптимизированы исходя из требования получения минимальной ширины пучка в фокальной плоскости для оценки АО со значительной кривизной поверхности. Оптимизация выполнена с помощью CST MICROWAVE STUDIO. Полученные в результате расчета значения коэффициента прохождения сфокусированной волны через плоский слой диэлектрика хорошо совпадают с расчетными значениями для модели падения плоской волны на слой.

Разработанный проект установки может быть положен в основу ее создания с целью применения для неразрушающего контроля обтекателей и частотно-селективных экранов при их производстве на ряде предприятий: «ОКБ Сухого», ИТПЭ РАН, АО «Концерн радиостроения Вега» и т. д.

Литература

1. **Калашников В. С.** Системы испытаний и диагностирования радиотехнического качества антенных обтекателей на этапах их проектирования и изготовления: Дисс. ... д-ра тех наук. — СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 1999.
2. **Сколник М.** Радиолокационные антенные устройства. — М. Советское радио, 1977.

А. В. Шарафутдинова студ.;
рук. Ю. Н. Бугаев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ» г. Москва);
В. Л. Филатов (заведующий НИЛ г. Москва);
В. А. Иванов, в.н.с., к.т.н. (НИУ «МЭИ» г. Москва)

КОРРЕЛЯЦИОННО-АМПЛИТУДНОЕ ПЕЛЕНГОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В МАЛОБАЗОВОМ КОРРЕЛЯЦИОННО-ФАЗОВОМ ПЕЛЕНГАТОРЕ

Малобазовые корреляционно-фазовые пеленгаторы (КФП) находят применение при решении задачи высокоточного измерения угловых координат космических аппаратов (КА) [1, 2].

При этом возникает проблема раскрытия многозначности фазовых измерений, которая в настоящее время, как правило, решается использованием целеуказаний (ЦУ). В то же время для ряда КА такие целеуказания могут отсутствовать или быть неточными. Поэтому проблема раскрытия многозначности в условиях неточных целеуказаний является актуальной.

В представленной работе рассмотрены принципы построения корреляционно-амплитудного пеленгатора (КАП), используемого совместно с корреляционно-фазовыми измерениями.

Приведены основные соотношения, описывающие работу КАП и КФП. Показана возможность устранения неоднозначности фазовых измерений при использовании КАП.

Приведены результаты моделирования описанных алгоритмов.

Новизна проведенных исследований состоит в использовании в качестве ЦУ для КФП результатов измерений КАП, при этом КАП и КФП реализуются на одной и той же аппаратуре малобазового фазового пеленгатора.

В работе обсуждается проблема раскрытия неоднозначности измерений угловых координат КА и определяются пути решения этой проблемы, проведено математическое моделирование разработанных алгоритмов и определены требования, предъявляемые к характеристикам КАП

Полученные результаты могут быть использованы при построении перспективных средств траекторных измерений.

Литература

1. **Зотиков Б. Д., Мешков М. Н., Турлов З. Н.** / Под ред. **М. Н. Мешкова.** Малобазовые корреляционно-фазовые пеленгаторы контроля траектории космических аппаратов различного назначения // Радиотехнические тетради. — 2012. — № 47.
2. **Чеботарев А. С., Жуков А. О., Махненко Ю. Ю., Турлов З. Н.** Мониторинг космических аппаратов на основе применения корреляционно-фазовых пеленгаторов / Под общей ред. **А. С. Чеботарева.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011.

А. А. Сидоров, студ.; рук. А. И. Баскаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЗАДАЮЩЕГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ БОРТОВОЙ РЛС

Комплекс устройств, синтезирующий частоты, называют системой синтеза частот. Если система выполнена в виде конструктивно самостоятельного устройства, его называют синтезатором частот [1]. Данный синтезатор является одним из основных узлов в бортовой РЛС, установленной на самолете МиГ-31БМ, он обеспечивает работоспособность РЛС в X-диапазоне.

Данный узел должен обеспечивать верное формирование требуемой сетки частот, а также низкий уровень шумов при отстройках от несущей частоты. При этом сами блоки должны быть выполнены на современной элементной базе, поэтому было решено использовать цифровой вычислительный синтезатор (ЦВС). Он позволяет получить малые погрешности при установке параметров, а также дает возможность осуществлять модуляцию. Из доступных синтезаторов такого типа хорошо подходит интегральная микросхема 1508П18Т.

ЦВС обеспечивает малые погрешности установки параметров, имеет широкие возможности по модуляции, характеризуется малым временем перехода от одной частоты к другой. Но значения его выходной частоты ограничены быстродействием цифровых узлов [2].

По результатам работы был разработан блок синтезатора частот, который удовлетворяет необходимым требованиям и позволяет сформировать необходимую сетку частот, что было проверено экспериментальным путем. Аналогично были проведены измерения уровня шумов при отстройках от несущей частоты, в результате получили при отстройке от несущей в диапазоне 0,2–10 МГц уровень шумов составил –97,8 дБ, при отстройке от несущей в диапазоне 10–100 МГц уровень шумов –91,4 дБ, при отстройке от несущей в диапазоне 100–800 МГц уровень шумов составил –83,6 дБ.

Литература

1. **Рыжков А. В., Попов В. Н.** Синтезаторы частот в технике радиосвязи. — М.: Радио и связь, 1991.
2. **Белов Л. А.** Синтезаторы частот и сигналов: Учебное пособие. — М.: САЙНС-ПРЕСС, 2002.

Е. Ю. Соколов, студ.; рук. В. Н. Третьяков, к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО КУРСУ «ТЕЛЕВИДЕНИЕ И ВИДЕОТЕХНИКИ. ЛИНЕЙНЫЙ МОНТАЖ» И МЕТОДИКИ ЕЕ ПРОВЕДЕНИЯ НА КАМКОРДЕРЕ JVC GY-NM790U

Для видеосъемки репортажей, сюжетов видеофильмов в телевидении широко используется камкордер. Отснятый камкордером видеоматериал сбрасывается на монтажный компьютер, где происходит его обработка [1]. Обработка видеоматериалов происходит в специальных программах, где можно наложить звук, добавить титры и многое другое.

В современных видеостудиях такая обработка осуществляется посредством нелинейного монтажа (NLE) [2]. Работе с камкордером и обучению линейному и нелинейному монтажу посвящена разрабатываемая лабораторная работа.

Эта лабораторная работа позволит студентам попробовать себя в роли видеоператора и изучить простые способы обработки видео посредством линейного и нелинейного монтажа (NLE).

Задача данной работы: разработка руководства к лабораторной работе, включающей цель работы, задания, выполняемые при подготовке к работе и в лаборатории, методические указания по выполнению работы, краткое описание камкордера и программы, в которой будет проводиться нелинейный монтаж, а также техника безопасности при работе с аппаратурой.

Описание лабораторной работы включает задания соответствующие разработанной методике исследований с подробными объяснениями действий. Полученные видеоматериалы копируются на компьютер, где в дальнейшем подразумевается их обработка. В завершении лабораторной работы оценивается качество работы каждой бригады.

Литература

1. Джакония В. Е., Гоголь А. А., Друзин Я. В. и др. Телевидение. Учебник для вузов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007.
2. Кузнецов Г. В., Цвик В. Л., Юровский А. Я. Телевизионная журналистика. — М.: Высшая школа, 2002.

И. А. Соколов студ.; рук. А. В. Дворкович, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ OFDM НА БАЗЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И СРАВНЕНИЯ ЕЕ С КЛАССИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ OFDM

Поскольку спрос на более высокие скорости передачи данных постоянно растет, всегда есть необходимость для разработки более эффективных систем беспроводной связи. Работа, описанная в этом докладе, является попыткой в этом направлении. Описанный метод предлагает лучший PAPR, чем обычная модуляция OFDM [1], что достигается за счет вейвлет-пакетов (WPM) с приемлемой вычислительной сложностью без использования каких-либо методов обрезки.

В процессе выполнения работы были рассмотрены:

1. технология OFDM, в основе которой лежит БПФ и проведено сравнение ее с той, в основе которой лежит вейвлет преобразование. Для этого:
 - построена модель OFDM с БПФ;
 - построена модель OFDM на вейвлетах.
2. проблема пиковой мощности и битовой ошибки [2]: главный недостаток сигналов этих систем, является их большая огибающая — функция, которая ограничивает эффективность нелинейные усилители мощности, характерные для беспроводных систем связи, вынуждая их работать при более низких показателях средней мощности. Эта проблема определяется количественно [3]. Отношение пиковой мощности к средней мощности (PAPR) в результате получается суперпозиции большого числа обычно статистически независимых подканалов, которые могут конструктивно суммируются с высокими пиками. Различные схемы разрабатываются для снижения высокого PAPR в OFDM и WPM сигналах.

По результатам моделирования проведена оценка полученных результатов и сделаны выводы.

Литература

1. **Бакулин М. Г., Крейнделин В. Г., Шлома А. М., Шумов А. П.** Технология OFDM. — М.: Горячая линия — Телеком, 2017.
2. **Ведяскина Ю.** Компактная сеть радиодоступа. Ч. 3 «Физический уровень» [Электронный ресурс] // Omoled, 2008–2017. URL: <http://omoled.ru/publications/view/852>
3. **Mohamed H. M. Nerma, Nidal S. Kamel and Varun Jeoti.** BER Performance Analysis of OFDM System Based on Dual — Tree Complex Wavelet Transform in AWGN Channel [Электронный ресурс] // Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Signal Processing, 2009. URL: <http://wseas.us/e-library/conferences/2009/istanbul/SIP-WAV/SIP-WAV-14.pdf>

*Х. М. Валиев, студент;
рук. В. С. Ижуткин, д. ф.-м. н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)*

РАЗРАБОТКА ФИЛЬТРА-КОРРЕКТОРА ДЛЯ ПРИЕМНОГО МОДУЛЯ РЛС

В последнее время в приемном и передающем трактах всех радиотехнических устройств наблюдается тенденция к уменьшению аналоговой части за счет увеличения цифровой. Таким образом, доля аналоговой обработки сигналов в трактах уменьшается, а доля цифровой растет. Кроме того, преобразование принятых аналоговых сигналов в цифровую форму позволяет применить ряд алгоритмов обработки, нереализуемых или сложно реализуемых в аналоговой технике.

Работа посвящена реализации фильтра-корректора для приемного модуля РЛС на ПЛИС фирмы Altera Cyclone V. Рассматриваемый фильтр позволяет производить фильтрацию и коррекцию входного сигнала для компенсации неидентичности приемных каналов [1]. Приведен типовой маршрут проектирования цифровых устройств на ПЛИС и рассмотрены его основные этапы. Так же показан алгоритм расчета коэффициентов фильтра, который основывается на спектральном представлении сигналов. Заключительным этапом данной работы является трассировка и размещение все программы на ПЛИС семейства ALTERA Cyclone V [2]. На данном этапе было показано, что для размещения все программы было затрачено 3% (3292) логических элементов, 6431 регистров, 3% (9) DSP-блоков.

Результатами работы является программа, написанная на языке программирования аппаратуры Verilog, временные диаграммы полученные в среде моделирования ModelSim [3]. А так же график амплитудного и фазового спектра сигналов до коррекции и после нее. Исходя из графика, можно сделать вывод о корректирующих свойствах фильтра.

Литература

1. **Сергиенко А. Б.** Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов.— М.: СПб. Питер, 2003. — 604 с.
2. **Лайонс Р.** Цифровая обработка сигналов. — М.: Бином-Пресс, 2006. — 656 с.
3. **Поляков А. К.** Языки VHDL и VERILOG в проектировании цифровой аппаратуры. — М.: СОЛОН-Пресс, 2009. — 320 с.

*А. В. Воронов, А. Д. Зонов, студенты;
рук. В. С. Ижуткин, д. ф.-м. н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВ ЗАКРЫТИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

Одной из важнейших проблем радиолокации является определение зоны видимости радиолокационной станции. Зона видимости зависит от дальности действия РЛС и углов закрытия.

Углом закрытия образует с горизонтальной осью прямую, проходящую через электрический центр антенны станции и касающаяся вершины неровности [1].

Зачастую углы закрытия определяются с помощью теодолита, размещенного на уровне электрического центра антенны. Дискретность по азимуту, как правило, не должна превышать ширины диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости. Сегодня создаются цифровые карты местности, которые уже наполняются метриками объектов с использованием теодолитных измерений.

В работе рассмотрен алгоритм получения карточки углов закрытия с использованием данных о метрике объектов на основе цифровых карт местности формата SXF (Storage and eXchange Format). Формат ориентирован на хранение информации в виде отдельных записей переменной длины по каждому объекту местности [2]. В каждой записи хранится метрика объекта. Основой алгоритма является нахождение области пространства (изовист, Isovist [3]), оптически видимой из точки наблюдения (электрический центр антенны).

Для нахождения изовиста определяется множество S потенциально видимых сегментов объектов. Далее формируется множество B сегментов, блокирующих видимость для каждого сегмента из множества S . Найденные сегменты проецируются с наложением на единичную сферу. Путем дискретного шага по азимуту получаем карточку углов закрытия [4].

Литература

1. **Мищенко Ю. А.** Зоны обнаружения. — М.: Воениздат, 1963. — 96 с.
2. **Панорама, Геоинформационные технологии.** Векторный формат «SXF» Структура данных в двоичном виде, редакция 4.0.
3. **Benedikt M. L.** To take hold of space: isovists and isovist fields // Environment and Planning B. — 1979. — Vol. 6. — P. 47–55.
4. **Suleiman W., Joliveau T., Favier E.** A New Algorithm for 3D Isovists // S. Timpf, P. Laube. Advances in Spatial Data Handling and GIS. — 2012. — P. 157–173.

Секция 6

СИСТЕМЫ РАДИОАВТОМАТИКИ И РАДИОУПРАВЛЕНИЯ

Председатель секции — к.т.н., доцент Р.С. Куликов
Секретарь секции — ассистент к.т.н. Е.В. Захарова

А. М. Ахламова, студент; рук. А. Ю. Шатилов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ДИСКРИМИНАТОРОВ ЗАДЕРЖКИ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИГНАЛОВ ГЛОНАСС ПРИ РАБОТЕ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛУЧЕВОСТИ

В работе проводился анализ ошибок псевдодалности при приеме перспективных сигналов системы ГЛОНАСС L1OCp, L1SCp в условиях многолучевости с различными типами дискриминаторов задержки огибающей. В работе рассмотрены 3 типа дискриминаторов: классический “E-L” [1] и 2 вида Double Delta дискриминатора [2].

В результате было установлено, что новые сигналы позволят снизить ошибку многолучевости почти в 2 раза для L1OCp, и почти в 10 раз для сигнала L1SCp по сравнению с L1OF при использовании дискриминатора “E-L” (см. рис. 1).

Для дискриминаторов Double Delta [2] и Enhanced Double Delta [2], применяющихся для уменьшения влияния многолучевости на ошибку определения псевдодалности, представлены графики зависимости ошибки многолучевости от задержки отраженного сигнала для различных значений амплитуд отраженного сигнала (см. рис. 2).

Литература

1. Перов А. И., Харисов В. Н. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. — М.: Радиотехника, 2010.
2. Jinghui Wu, Dempster A. G. Unambiguous Double Delta Discriminator for sine-phased BOC (n, n) receiver // J. Global Positioning Systems. — 2011.

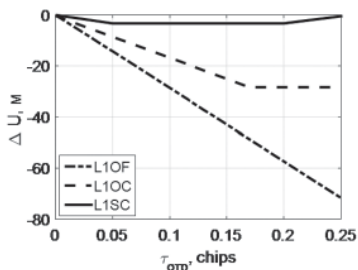


Рис. 1. Зависимость ошибки на выходе дискриминатора “E-L” от задержки отраженного сигнала, при амплитуде отраженного сигнала $A_{\text{от}} = 0.5A_{\text{пр}}$

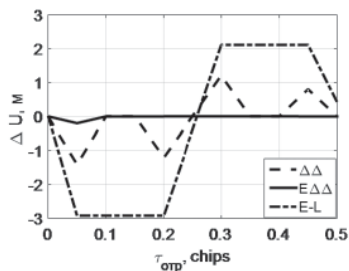


Рис. 1. Зависимость ошибки на выходе трех дискриминаторов от задержки отраженного сигнала для сигнала L1SC, при амплитуде отраженного сигнала $A_{\text{от}} = 0.5A_{\text{пр}}$

*М. Д. Бутняков, И. И. Трифонов, студенты;
рук. Р. С. Куликов, к. т. н. (НИУ «МЭИ»)*

НАВИГАЦИЯ В ЗАКРЫТЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ПУТЕМ ОБРАБОТКИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ЭХО-СИГНАЛОВ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Навигация в закрытых помещениях сильно востребована для бытовых, промышленных и специальных применений.

Для навигации в закрытом пространстве в настоящее время нет стандартных решений, ведется их активная разработка, проводятся эксперименты с множеством технологий, в том числе с машинным зрением [1]. Источник информации для данных систем — видеопоток, но его обработка является избыточной с точки зрения навигации.

Альтернативным источником информации для систем машинного зрения являются ультразвуковые эхолокационные сигналы, по подобию системы навигации летучей мыши [2]. Алгоритмическая обработка эхолокационных сигналов не позволяет выделить из сигналов нужную информацию для позиционирования объекта в произвольном помещении с произвольной конфигурацией свободных зон, проходов/проемов и препятствий. Предлагается применять машинное обучение: нейронные сети, использование которых позволяет получить из эхолокационных сигналов достаточный объем информации для определения конфигурации помещения и возможности движения вперед (наличия свободного пространства или препятствия спереди) [3].

В работе модулируется эхо-сигнал, в результате которого формируется выборка для обучения нейросети и контроля качества ее работы. Обоснована конфигурация нейросети и ее мощности, выбирается метод обучения. Дальнейшая работа — обучение нейросети, аппаратная реализация излучателя и приемника ультразвуковых эхо-сигналов и обучение нейросети для обработки реальных сигналов с использованием ранее полученного задела.

Литература

1. **Круглов В. В., Борисов В. В.** Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия — Телеком, 2001.
2. **Айрапетьянц Э. Ш., Константинов А. И.** Эхолокация в природе. Л.: Наука, 1974.
3. **Галушкин А. И.** Нейронные сети: основы теории. М.: Горячая линия — Телеком, 2010.

Д. В. Днепров, асп; рук. А. И. Перов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ АЛГОРИТМОВ СЛЕЖЕНИЯ ЗА ПАРАМЕТРАМИ РАДИОСИГНАЛА В СПУТНИКОВОЙ РАДИОНАВИГАЦИИ

Получение точных оценок параметров радиосигнала — одна из важнейших задач для систем спутниковой радионавигации. Как правило, оцениваемые параметры неизвестны и изменяются во времени, т.е. являются случайными процессами. Такие задачи решаются в рамках статистической теории радиосистем [1] с помощью известных алгоритмов слежения в виде расширенного фильтра Калмана [2].

Уравнения фильтра Калмана, применяемые для нахождения оценок математического ожидания и дисперсии случайных процессов, заменяют непосредственный расчет апостериорной плотности вероятности (АПВ), которая полагается гауссовской. В режимах работы при низком отношении сигнал/шум, либо в случаях, когда АПВ не является гауссовской, возможно применение альтернативных методов для нахождения самой АПВ и оценок моментов случайного процесса. В докладе рассматриваются алгоритмы оценивания параметров сигнала с помощью численного расчета АПВ и алгоритмы оптимальной траекторной фильтрации (ОТФ) [3].

Основные выражения для алгоритма ОТФ:

$$\Phi(\mathbf{x}_k | \mathbf{Y}_0^{k-1}) = \max_{\mathbf{x}_{k-1}} p(\mathbf{x}_k | \mathbf{x}_{k-1}) \Phi(\mathbf{x}_{k-1} | \mathbf{Y}_0^{k-1}),$$
$$\Phi(\mathbf{x}_k | \mathbf{Y}_0^k) = cp(\mathbf{y}_k | \mathbf{x}_k) \Phi(\mathbf{x}_k | \mathbf{Y}_0^{k-1}),$$

В докладе приведены результаты сравнительного анализа и моделирования системы фазовой автоподстройки I порядка для случаев линейных и нелинейных наблюдений. Нахождение оценок моментов случайных процессов производится с помощью алгоритмов линейной, нелинейной калмановской фильтрации, а также с помощью алгоритмов ОТФ.

Литература

1. **Перов А. И.** Статистическая теория радиотехнических систем. Учебное пособие для вузов. — М.: Радиотехника, 2003. — 400 с.
2. **ГЛОНАСС.** Принципы построения и функционирования / Под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. — М.: Радиотехника, 2010. — 800 с.
3. **Болденков Е. Н.** Совместное слежение за задержкой и несущей сигнала методами оптимальной траекторной фильтрации // Радиотехника. 2013. № 10.

В. В. Днепров, асп.; рук. И. В. Корогодин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗАИМНОЙ ОРИЕНТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ ПО СИГНАЛАМ WI-FI

Современные прототипы автономных транспортных средств получают информацию об окружающем мире из целого ряда источников: видеокамеры, лидары, радары и ультразвуковые датчики. К этим источникам можно добавить радиосигналы, используемые в системах V2V (vehicle-to-vehicle) в качестве средства обмена информацией. С их помощью можно проводить угломерные измерения, полезные для многих приложений: автономное вождение, помощь водителю, совместное позиционирование и др.

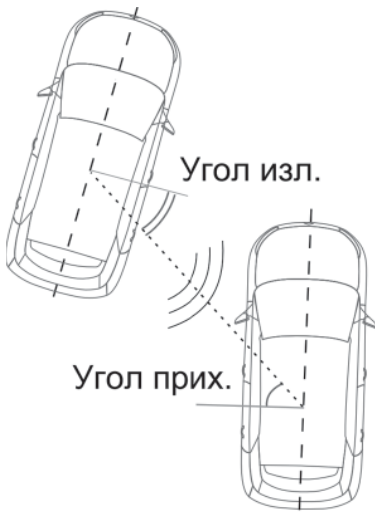


Рис. 1. Взаимные угловые измерения

из сигнала каждой антенны информацию о фазе и амплитуде всех составляющих. В докладе приводится методика калибровки, позволяющая учесть систематические ошибки, вызванные неидентичностью фазочастотных характеристик каналов приема. Также рассматриваются основные источники ошибок, приводятся результаты экспериментов. Показано, что ошибка определения угла прихода достигает 5 градусов (пиковое значение) при благоприятных условиях приема, и 10 градусов в условиях многолучевости.

Под оцениванием взаимной ориентации в данном случае понимается оценка направления на другие автомобили (угол между линией визирования (ЛВ) и продольной осью автомобиля). Реализовать это можно обрабатывая сигналы, излучаемые другим автомобилем (см. рис. 1). Но можно построить систему, позволяющую измерить и угол между линией визирования и продольной осью передающего автомобиля. Для этого, например, передатчик может излучать сигналы с помощью нескольких антенн.

Для измерения введенных углов разработан макет угломерной системы, состоящей из двух компьютеров Lenovo-Q180 и модулей Intel Wifi Link 5300. Каждый модуль оборудован 3 антеннами. Состав макета обусловлен доступностью оборудования, отсутствием необходимости аппаратной модификации, и наличием специального программного обеспечения [1], позволяющего извлечь

Литература

1. Halperin D., Hu W., Sheth A., Wetherall D. Tool Release: Gathering 802.11n Traces with Channel State Information // ACM SIGCOMM CCR. — 2011, Jan. — Vol. 41, N 1. — P. 53.

А. П. Евков, студент; рук. И. А. Нагин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ВИДЕОДАТЧИКА И НАП СРНС

Комплексирование датчиков, измеряющих связанные между собой физические величины, позволяет повысить итоговые точности оценки параметров в различных системах. Это справедливо и для спутниковых радионавигационных систем (СРНС) [1]. Известны методы оценивания координат особых точек в пространстве с использованием данных от одной видеокамеры, с одновременным оцениванием положения самой камеры [2].

Была поставлена и решена изолированная задача оценивания координат $X = [X_1 \ X_2 \ X_3]^T$ особой точки. Наблюдениями являлись положения особой точки на кадре: $Y_k = [Y_{1,k} \ Y_{2,k}]^T + n_k$, где n_k — вектор шума с СКО σ . Ориентация и координаты камеры считались известными ($\sigma=0,05$ м). Получены предельные ошибки координат точки 0.05 м (см. рис. 1.)

Была поставлена и решена задача оценивания координат, скорости и ориентации камеры (в форме кватерниона): $X = [x^T \ v^T \ q^T]^T$ по облаку точек (координаты точек известны с $\sigma=0,05$ м), вектор наблюдения — положения точек на кадре $Y_k = [Y_{1,k}^{Pl} \ Y_{2,k}^{Pl} \ \dots \ Y_{1,k}^{PN} \ Y_{2,k}^{PN}]^T + n_k$.
Полученная в модели предельная ошибка координат камеры для объекта-автомобиля — 1 м (см. рис. 2). Вид траектории приведен на рис. 3.

Литература

1. **Перов А. И., Харисов В. Н.** ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования — М.: Радиотехника, 2010. — 800 с
2. **Andrew J. Davison, Ian Reid, Nicholas Molton, and Olivier Stasse.** Monoslam: Real-time single camera slam. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, (6):1052–1067, 2007.

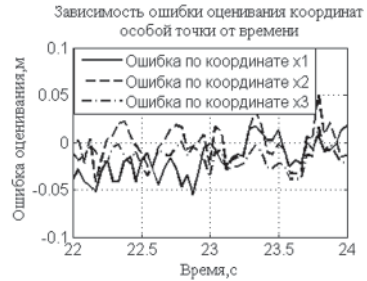


Рис. 1. Зависимость ошибки оценивания координат особой точки от времени

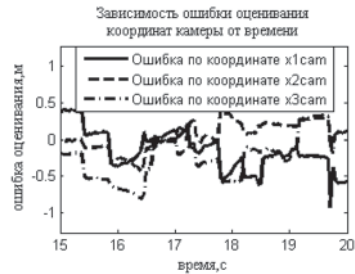


Рис. 2. Зависимость ошибки оценивания координат камеры от времени

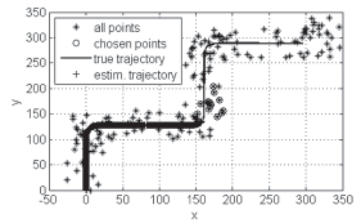


Рис. 3. Вид траектории движения объекта

П. С. Грибов, асп.; рук. А. Ю. Шатилов, к. т. н. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ С АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ ЗА СЧЕТ КАЛИБРОВКИ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЕМНЫХ КАНАЛОВ

Перспектива развития помехозащищенной навигационной аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем (НАП СРНС) на сегодняшний день не вызывает сомнений. Эффективными методами помехозащиты НАП служат пространственная и пространственно-временная обработка сигналов [1–4]. Оба метода используют антенную решетку и диаграммообразующую схему для управления диаграммой направленности решетки.

Между тем известно, что для любого метода эффективность подавления помех зависит от ряда дестабилизирующих факторов, основными из которых выступают амплитудные и фазовые рассогласования частотных характеристик (ЧХ) приемных каналов [1]. Снизить влияние неидентичности ЧХ возможно за счет проведения калибровки. Классическая схема калибровки сводится к измерению и корректровке рассогласования частотных характеристик каналов.

Авторами статьи развивается классический подход для использования в существующей и перспективной помехозащищенной НАП СРНС. Предлагаемый метод калибровки основан на последовательном измерении и коррекции частотных характеристик трактов. Для измерения частотной неидентичности используется внутренняя память устройства. Коррекция частотных характеристик выполняется с помощью фильтров-корректоров. Особенностью метода является практически полная свобода разработчика в выборе алгоритма оценки неидентичности частотных характеристик, методе синтеза импульсной характеристики фильтра-корректора, а также возможность контроля результатов калибровки.

Литература

1. **Перов А. И.** ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. М.: Радиотехника, 2010.
2. **Монзинго Р. А.** Адаптивные антенные решетки. М.: Радио и связь, 1986.
3. **Ефименко В. С., Харисов В. Н.** Оценка характеристик подавления помех приемникам ГНСС с антенными решетками в реальных условиях // РТ. 2013. № 7.
4. **Ефименко В. С., Харисов В. Н., Павлов В. С.** Оптимальные алгоритмы пространственно-временной обработки сигналов и их характеристики // РТ. 2016. № 9.

Ю. М. Инчагов, асп.; рук. А. Ю. Шатилов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

СИНТЕЗ СЛАБОСВЯЗАННОГО АЛГОРИТМА КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ НАП СРНС И ИНС, РАБОТАЮЩЕГО ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ПСЕВДОДАЛЬНОСТЕЙ И ПСЕВДОСКОРОСТЕЙ ОТ НККА

Использование слабосвязанной схемы комплексирования должно повысить точность определения вектора координат и вектора скорости, снизить скорость роста ошибок при наблюдении недостаточного количества навигационных космических аппаратов (НКА) [1].

Разработанный алгоритм с использованием измерений псевдодальностей и псевдоскоростей от 3 НКА в модифицированном варианте комплексирования позволил снизить скорость роста ошибок в 2,8 раз по сравнению с использованием измерений от 0 НКА.

Для получения статистически значимого результата потребовалось сделать 100 запусков модели с использованием измерений от 1, 2, 3 НКА. Это не позволило набрать достаточной статистики, чтобы было очевидно преимущество между случаями использования измерений от одного и двух НКА.

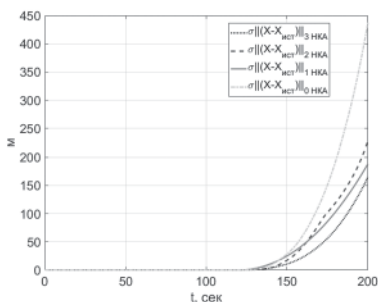


Рис. 1. Среднеквадратическое значение нормы погрешности трехмерных координат при усреднении по 100 экспериментам

Литература

1. Перов А. И., Харисов А. Н. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. — М.: Радиотехника, 2010 г.

*С. П. Ипполитов, аспирант;
рук. А. И. Перов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА В ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ЧИСЛАХ

Пространственно-временная обработка сигналов с использованием антенных решеток (АР) широко используется в радиолокационных системах, телекоммуникационных системах, аппаратуре спутниковой навигации и других приложениях, когда необходимо принимать и обрабатывать сигналы при наличии пространственно-распределенных помех. При пространственно-временной обработке сигналов используются различия пространственных и временных характеристик сигналов, принимаемых антенной системой. Использование АР в приемниках сигналов позволяет выявить различие пространственных характеристик принимаемых сигналов, как правило приводящих к различным набегам фаз сигналов, приходящих с разных направлений, на различных антенных элементах (АЭ). Для выявления этих фазовых различий обычно использует описание принимаемых узкополосных сигналов в виде комплексных огибающих [1]. В связи с этим научных кругах можно услышать мнение о том, что только такое комплексное представление сигналов и позволяет получить хорошие характеристики компенсации пространственных помех при пространственно-временной обработке. Однако, такой тезис представляется не вполне обоснованным [2], принимаемый сигнал является действительным сигналом. Кроме того, реализация алгоритмов в комплексной форме требует значительно больших аппаратных ресурсов.

В работе рассматривается синтез алгоритма оценки параметров сигнала по действительным наблюдениям с антенной решеткой. Производится анализ помеховой составляющей на выходе части пространственной обработки. Приводятся результаты имитационного моделирования.

Литература

1. **Монзинго Р. А., Миллер Т. У.** Адаптивные антенные решетки. Введение в теорию. — М.: Радио и связь, 1986.
2. **Баскаков С. И.** Радиотехнические цепи и сигналы. — М.: Высшая школа, 1998.

В. С. Лукьянов, студент; рук. А. Ю. Шатилов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПОДГОТОВКА ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ ГЛОНАСС К ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В АЛГОРИТМАХ RTK

В настоящее время актуальна задача высокоточной радионавигации. Потребность в получении точных координат имеют представители широкого спектра направлений. Высокоточные навигационные приемники способствуют более качественному решению задач геодезии и радиоуправления.

Однако для точного получения координат посредством применения специальных алгоритмов необходимо иметь точные измерения фазы кода и несущей частоты сигнала.

При использовании сигналов ГЛОНАСС особенно остро стоит вопрос учета систематических погрешностей оценок параметров сигналов, возникающих в приемнике. В отличие от сигналов GPS, каждый сигнал ГЛОНАСС будет иметь свою ошибку, что связано с частотным разделением, которое в настоящее время широко используется в отечественной спутниковой радионавигационной системе. Тот факт, что ошибка будет зависеть от номера сигнала, ухудшает или делает вовсе невозможным использование алгоритмов дифференциальной навигации, в частности RTK.

Пример величин ошибок в оценки псевдо-задержки изображен на рис. 1. В связи с этим требуется разработка алгоритма, который поможет справиться с представленной проблемой.

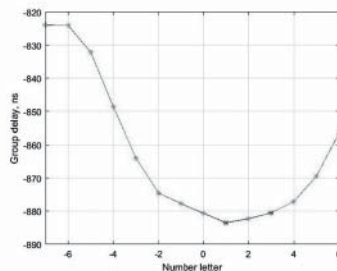


Рис. 1. Пример значений задержки огибающей кода, возникающей в навигационном приемнике, для сигналов ГЛОНАСС

Литература

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. — М.: Радиотехника, 2010.

А. А. Мхоян (НИУ «МЭИ»), В. А. Кобзев (МГТУ им. Баумана, Москва) студенты; рук. д. т. н. В. И. Меркулов (АО Концерн «Вега»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО НАВЕДЕНИЯ ПРИ НАВЕДЕНИИ НА МАНЕВРИРУЮЩУЮ ЦЕЛЬ

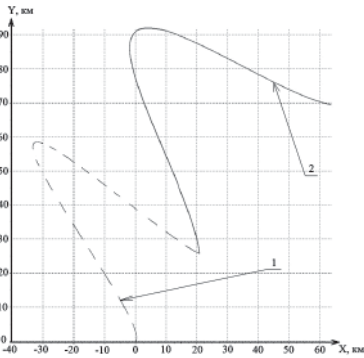


Рис. 1. Траектории движения на координатной плоскости при дальности 100 км:
1 — цель; 2 — наводимый объект

Используемые в настоящее время разновидности законов управления летательными аппаратами (ЛА) основаны на достаточно грубых предположениях, таких как: отсутствие маневра цели и объекта управления; пренебрежение сильной зависимостью угловой скорости линии визирования от дальности на последнем участке траектории наведения, непосредственно перед поражением цели [1].

Цель работы — разработка автоматизированной системы расчета траекторного наведения (АСТН), позволяющего ЛА выполнять наведение на маневрирующую цель, по траектории, обеспечивающей наименьший показатель промаха.

При разработке АСТН учитывали такие параметры, как маневр цели, тип наводимого объекта, начальную дальность пуска, коэффициент, учитывающий зависимость угловой скорости линии визирования от дальности на последнем участке траектории наведения. Траекторию движения наводимого объекта, с учетом этих поправок, можно увидеть на рис. 1.

Исходя из результатов расчета предполагаемого вектора движения разработанная компьютерная система в среде программирования C++ Builder [2] ЛА обеспечивает программную реализацию следующих функций: расчет вектора движения ЛА в конкретный момент времени, анализ пространства с целью выявления и выбора наиболее подходящей траектории, учет текущего промаха и перегрузок.

Литература

1. Меркулов В. И. и др. Авиационные системы управления: в 3 т. / Под. Ред Меркулова В. И., Канащенкова А. И. — М.: ИПРЖР, 2003.
2. Архангельский А. Я. Компоненты C++ Builder. — М.: Бином-Пресс, 2008.

Т. А. Мухамедзянов, студент; рук. А. Ю. Шатилов к. т. н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ КОМПЛЕКСНОЙ ВТОРИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ИНЕРЦИАЛЬНО-СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

В работе рассматривался синтез алгоритмов комплексной обработки информации в инерциально-спутниковых навигационных системах [1]. В результате работы были синтезированы и промоделированы 3 новых алгоритма комплексирования:

1. Алгоритм, использующий представление ориентации в форме вектора вращения на основе расширенного фильтра Калмана;
2. Алгоритм, использующий представление ориентации в форме вектора вращения на основе сигма-точечного фильтра;
3. Алгоритм, использующий представление ориентации в форме кватерниона на основе сигма-точечного фильтра;

Проведено сравнение работы этих алгоритмов в установленном режиме и в случае отключения решения от навигационной аппаратуры потребителя спутниковой радионавигационной системы (см. рис. 1). В результате сравнения удалось повысить точность определения координат в автономном режиме работы более чем на 20%, по сравнению с алгоритмом, использующим представление ориентации в форме кватерниона на основе расширенного фильтра Калмана [2].

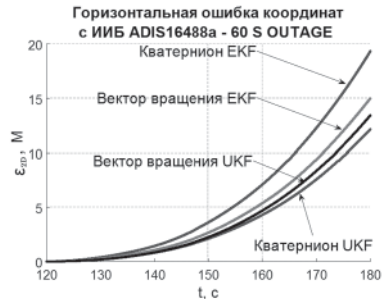


Рис. 1. Горизонтальная ошибка координат
ЕКФ — *Extended Kalman Filter*;
UKF — *Unscented Kalman Filter*.

Литература

1. Перов А. И., Харисов В. Н. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. — М.: Радиотехника, 2010.
2. Shatilov A. Y., Nagin I. A. ION GNSS 2012 Conference “A Tightly-Coupled GNSS/IMU Integration Algorithm for Multi-Purpose INS”.

А. А. Шамина, студ.; рук. Р. С. Куликов к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СРАВНЕНИЯ РАБОТЫ РАСШИРЕННОГО ФИЛЬТРА КАЛМАНА И PARTICLE-ФИЛЬТРА ПРИ НЕЛИНЕЙНОМ ДНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Из-за нелинейности модели объекта наблюдений или модели измерений встает вопрос о выборе фильтра, который справится с тем или иным случайным динамическим воздействием. Если случайные воздействия подчинены распределению Гаусса, то для данного случая применим расширенный фильтр Калмана (РФК). Если случайные процессы не подчиняются закону распределения Гаусса, используются particle-фильтры или так называемые фильтры частиц.

В расширенном фильтре Калмана вводится предположение о гауссовском распределении вектора состояния, который подвергается линейному преобразованию [1].

Отличие от РФК в основе фильтров частиц лежит метод Монте-Карло, который оперирует набором случайных точек, аппроксимирующих искомую плотность вероятности [2]. В силу того, что характер искомой плотности вероятности не известен, сгенерировать случайные точки, называемыми частицами (гипотезами), затруднительно. В связи с этим вводится распределение значимости, в большинстве случаев выбираемое гауссовским, на основании которого происходит генерация гипотез [2]. Т.е. такой фильтр позволяет получить оценку параметров системы или объекта, которые нельзя измерить напрямую.

В данном докладе приведен анализ сравнения работы двух приведенных выше фильтров при нелинейном динамическом воздействии.

Литература

- 1 **Перов А.И.** Анализ и оценка основных существующих подходов к прикладным методам оптимальной нелинейной фильтрации. — 2013.
- 2 **Johansen A.M.** A Tutorial on Particle Filtering and Smoothing: Fifteen years later, Department of Statistics, University of Warwick, Coventry, CV47AL, UK.

Секция 7

СЕТИ И СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Председатель секции — д.т.н., профессор Н.С. Губонин

Секретарь секции — к.т.н., доцент А.Ю. Сизякова

*Л. С. Архипов, студент;
рук. В. В. Косулин, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПЛАТЫ ПРОЕЗДА В ОБЩЕСТВЕННОМ ТРАНСПОРТЕ

Большая часть населения России пользуется услугами общественного транспорта, поэтому актуален вопрос совершенствования оплаты проезда. Во многих городах страны сегодня внедряется система безналичной оплаты проезда. В работе предлагается аппаратно-программный комплекс автоматизации оплаты проезда в общественном транспорте, который позволит упростить оплату за проезд. Общественный транспорт, оборудованный данным комплексом, сможет в автоматическом режиме снимать деньги за проезд, а также вести мониторинг загруженности транспортного средства для статистического анализа. При использовании данного комплекса происходит полный отказ от кондукторов, и вместо них контроль будут осуществлять контроллеры. «Забывчивые» пассажиры могут приобрести одноразовые билеты в киосках города.

Предлагаемый программно-аппаратный комплекс имеет следующие преимущества по сравнению с существующей системой в Казани:

1. Оплата по безналичному расчету, что делает проезд в транспорте в часы-пик, когда транспорт переполнен более комфортным (не надо доставать денежные средства и искать, куда положить сдачу).
2. Отсутствие материальных (бумажных) проездных документов, что приведет к тому, что город станет чище.
3. Возможно ведение учета пассажиропотока в каждой единице общественного транспорта, так как будут собираться статистические данные: на каком транспорте, в какое время и сколько пассажиров оплатило проезд, что позволит динамично оптимизировать количество транспортных средств на маршрутах общественного транспорта.

Однако введение предлагаемой системы оплаты приведет к тому, что:

1. Безбилетных пассажиров будет сложнее поймать [1], т. к. кондуктора в автобусе не будет, а контроллеры будут рассеяны по маршруту, что можно решить повысив мобильность групп контролеров. При регулярной проверке оплаты проезда пассажиры постепенно привыкнут к тому, что вовремя надо оплачивать.

Литература

1. Провести реформу системы контроля оплаты проезда в городском общественном транспорте (г. Санкт-Петербург) // Российская общественная инициатива URL: <https://www.roi.ru/11739>.

*Г. Ю. Вареница, асп. («ПензГТУ»), О. А. Гусев, студ.; рук-ли:
А. Ю. Зорин, к. т. н., доц.; Д. И. Кимяев, к. т. н. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА КОНЦЕНТРАТОРА ИНФОРМАЦИИ, РАБОТАЮЩЕГО ПО ПРОТОКОЛУ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ CAN

В рамках доклада речь пойдет о модуле для контроля характеристик сложного электронного устройства.

Была поставлена задача — разработать высокоскоростной и надежный модуль для сложного электронного устройства, который способен при подключении к общей шине сложного устройства, принимать и обрабатывать информацию со всех его составных частей, а также выдавать команды на управляемые элементы устройства.

В процессе работы была разработана схема на основе микроконтроллера и интерфейсных микросхем, организующих передачу информации по протоколу передачи данных CAN. В сложное электронное устройство была также внедрена общая CAN — шина, к которой были подключены все составные части и управляемые элементы.

Для установки взаимодействия был разработан программный код для микроконтроллера.

Принцип работы CAN-модуля состоит в следующем: последовательность импульсов, которая несет в себе информацию о принадлежности к конкретной составной части устройства и измеряемого параметра этой части поступает по CAN — шине в CAN — модуль, где микроконтроллер в свою очередь обрабатывает данные, проверяя информацию по алгоритму, ранее заложенному в его памяти. Далее эти данные направляются на микросхему, работающую с интерфейсом RS-485, где эти данные кодируются и отправляются на ПК.

Также был разработан программный комплекс для ПК, обеспечивающий графическое отображение такого обмена информацией, то есть пользователь сможет через CAN — модуль просмотреть принятую информацию со всех частей устройства, и также сможет отправить команды на управляемые элементы.

В ходе проведения комплексных испытаний на взаимодействие с составными частями сложного электронного устройства, CAN-модуль показал отличные результаты по быстродействию при передаче информации.

*К. Р. Куценосова, студ.;
рук. А. Ю. Сизякова, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ НА РАБОТУ СИСТЕМЫ ТАКТОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ДЛЯ СИГНАЛА 2ФМ

Система восстановления несущей (СВН) и система тактовой синхронизации (СТС) входят в состав когерентного демодулятора приемника системы передачи цифровой информации. В данной работе эти системы анализируются для фазоманипулированного сигнала (2ФМ).

В демодуляторе сигнал и шум с выхода усилителя промежуточной частоты приемника поступают на СВН, которая содержит 2 фазовых детектора-перемножителя (СВН в виде двухканальной системы Костаса [1]). Напряжение с выхода фазового детектора косинусного канала подается на СТС. При малой ошибке слежения по фазе в СВН полезная составляющая этого напряжения представляет собой двухуровневую знакопеременную последовательность прямоугольных импульсов длительностью T .

В работе изучен один из возможных вариантов построения СТС [2], состоящий из согласованного фильтра, квадратора и аналоговой ФАП. На выходе квадратора имеется полезный сигнал, близкий к гармоническому колебанию с частотой, равной скорости передачи сигнала $1/T$. Помеховая составляющая образуется как за счет внутреннего шума приемника, так и за счет случайного характера фазоманипулированного сигнала. Полезное колебание выделяется с помощью ФАП, которая играет роль полосового фильтра, настроенного на частоту $1/T$.

В докладе представлены математические модели СВН и СТС. Каждая из этих следящих систем имеют астатизм второго порядка. Моделированием на ЭВМ исследовано влияние СВН на характер переходных процессов в СТС.

При малой ошибке слежения по фазе $\varphi(t)$ в СВН характер изменения ошибки слежения по задержке $\tau(t)$ в СТС практически такой же, как при идеальной работе СВН, т. е. при $\varphi(t) = 0$. При линейном изменении фазы сигнала $\varphi_c(t) = \Omega t$ на входе СВН и больших значениях начальной расстройки по частоте Ω время захвата сигнала в СВН увеличивается. Однако это мало сказывается на характере процессов в СТС. Показано, что при значениях начальной расстройки по частоте $\Omega/2\pi$, близких к $1/(2T)$, работа СТС полностью нарушается.

Литература

1. **Прокис Д.** Цифровая связь. — М.: Радио и связь, 2000.
2. **Fang T. T.** I and Q decomposition of self-noise in square-law clock regenerators // IEEE Trans. Commun. — 1998. — № 9.

*М. В. Волков студент; рук. С. С. Логинов, д.т.н., проф.
(КНИТУ-КАИ им. А. Н. Туполева, Москва)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО ПРИЕМНИКА СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

В настоящее время наряду с традиционными системами связи активно развиваются сверхширокополосные (СШП) системы связи на основе сверхкоротких видеоимпульсов. Такие сигналы актуальны для локальных и персональных сетей связи внутри небольших помещений и систем ближней радиолокации. Одной из основных проблем при разработке приемников для таких систем является высокие требования к быстродействию микросхем цифровой обработки, а также практически неизбежное несоответствие форм принимаемых, в том числе с учетом переотражений, и подаваемых на коррелятор импульсов.

Цель данной работы состоит в анализе влияния формы и задержек отраженных от объектов импульсов на качество работы корреляционного приемника.

С использованием пакета Matlab Simulink разработана модель корреляционного приемника, работающего в условиях гауссова шума и переотраженных от объектов импульсов. При моделировании коррелятора на один из его входов подавались двухполярные гауссовы импульсы, на другой — прямоугольные импульсы, удобные при реализации на ПЛИС.

Проведен анализ влияния форм и задержек отраженных от объектов импульсов на качество работы корреляционного приемника. Показана возможность применения в корреляционном приемнике двухполярных прямоугольных импульсов вместо импульсов гауссовой формы. При этом происходит падение амплитуды корреляционного пика не более чем на 12%, что является приемлемым для практики.

З. А. Скрипочка, студ.; рук. А. Ю. Сизякова, к.т.н., доц. (МЭИ (ТУ))

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ДЕТЕКТОРА И RAKE-ПРИЕМНИКА В СИСТЕМЕ CDMA

Одним из основных недостатков систем CDMA является уменьшение емкости системы при многолучевой помехе. Для борьбы с замираниями сигналов в системах CDMA могут использоваться Rake-приемники или многопользовательские детекторы. В докладе проведен сравнительный анализ зависимостей, характеризующие уровень качества обслуживания (Quality of service) абонента в системе подвижной связи CDMA для приемников этих двух видов и показано преимущество многопользовательских детекторов.

Недостатком алгоритма параллельного Rake-приемника является то, что основной вклад в шумовую помеху вносят помехи, возникающие вследствие неидеальной ортогональности псевдослучайных кодов. Один из вариантов борьбы с этими помехами — использование многопользовательских детекторов, принцип работы которых заключается в том, что все мешающие сигналы от других абонентов воспринимаются и обрабатываются не как шумы, а как сигналы, прошедшие через многолучевой канал.

Основной задачей моей работы было сравнение эффективности алгоритмов Rake-приемника и многопользовательского детектора. В докладе рассмотрен один из вариантов реализации алгоритма многопользовательского детектора — детектор с решающей обратной связью.

Анализ проводится на основании трех обобщенных зависимостей — вероятности ошибки на бит переданной информации при использовании Rake-приемника, вероятность ошибки на бит при использовании многопользовательского детектора, а также идеализированного варианта — вероятности ошибки на бит для одного абонента в отсутствие других пользователей в системе. Показано, что при использовании Rake-приемника вероятность ошибки будет выше, чем при использовании многопользовательского детектора. Для выравнивания вероятностей ошибки необходимо увеличивать отношение сигнал-шум на входе Rake-приемника более чем на 2–3 дБ.

В результате работы сделан вывод, что использование многопользовательских детекторов имеет смысл при малом отношении сигнал-шум на входе приемника, например, в условиях городской застройки. При увеличении отношения сигнал-шум Rake-приемник дает приемлемые результаты, и использование дорогостоящих многопользовательских детекторов является неоправданным.

Э. У. Селимов, студ.; рук. А. Ю. Сизякова, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ТАКТОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ДЛЯ СИГНАЛА 4ФМ

В состав оптимального демодулятора приемника системы передачи цифровой информации входит система символьной или тактовой синхронизации (СТС). В данной работе анализируется СТС для фазоманипулированного сигнала 4ФМ.

Смесь сигнала и шума с выхода усилителя промежуточной частоты приемника поступает на два перемножителя, колебания с выходов которых используются в демодуляторе сигнала 4ФМ, а также в синфазно-квадратурной схеме системы восстановления фазы несущей (СВН). На вторые входы перемножителей подаются: колебание $u_{гс}(t)$ с выхода подстраиваемого генератора СВН и колебание $u_{гс}(t)$, которое представляет собой $u_{гс}(t)$, прошедшее через фазовращатель на 90° .

Полагается, что СВН работает идеально и ошибка слежения по фазе равна нулю. При этом на выходах перемножителей формируются низкочастотные процессы

$$\begin{aligned}u_{д1}(t) &= U \sin \varphi_m(t) + u_{ш1}(t), \\u_{д2}(t) &= U \cos \varphi_m(t) + u_{ш2}(t),\end{aligned}$$

где $\varphi_m(t)$ — четырехуровневая последовательность прямоугольных импульсов длительностью T ; $u_{ш1}(t)$ и $u_{ш2}(t)$ — шумы; U — амплитудный множитель.

Напряжения $u_{д1}(t)$, $u_{д2}(t)$ подаются на СТС. В работе изучается один из возможных вариантов построения СТС [1]. Процессы $u_{д1}(t)$, $u_{д2}(t)$ проходят через согласованные фильтры, возводятся в квадрат, суммируются и поступают на вход аналоговой системы фазовой автоподстройки (ФАП).

На выходе сумматора имеется полезный сигнал, близкий к гармоническому колебанию с частотой символов $1/T$. Помеховая составляющая образуется как за счет шумов $u_{ш1}(t)$ и $u_{ш2}(t)$, так и за счет случайного характера фазоманипулированного сигнала. Полезное колебание выделяется с помощью ФАП, которая играет роль полосового фильтра, настроенного на частоту $1/T$.

Составлена математическая модель СТС, в которой ФАП имеет астатизм второго порядка. Моделированием на ЭВМ исследовано влияние параметров системы на характер переходных процессов и дисперсию ошибки слежения при различных значениях отношения сигнал/шум.

Литература

1. Fang T. T. I and Q decomposition of self-noise in square — law clock regenerators // IEEE Trans. Commun. — 1998. — № 9.

Ю. В. Семина, асп.; рук. А. Ю. Сизякова, к.т.н., доц. (МЭИ(ТУ))

ВЛИЯНИЕ ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛА В РЕТРАНСЛЯТОРЕ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С МДЧР

В системах спутниковой связи (ССС) используется разделение сигналов по частоте, по времени или по форме, чтобы свести к минимуму взаимное влияние сигналов мобильных станций, уменьшив тем самым снижение достоверности передаваемой информации. При многостанционном доступе с частотным разделением (МДЧР) сигналы нескольких мобильных станций (МС) усиливаются в одном стволе спутникового ретранслятора (РТР), причем каждая станция передает свои сигналы в отведенном участке полосы ствола ретранслятора.

В системах с МДЧР одновременно обрабатываются сотни сигналов от различных земных станций, практически независимо используя частотный ресурс ретранслятора. Поскольку потери при распространении сигналов ССС велики, на выходе передатчика бортового РТР необходимо иметь сигнал достаточной мощности. Бортовой усилитель РТР обычно работает в нелинейном режиме для наиболее полного использования его ресурса. При нелинейном усилении группового сигнала на выходе усилителя мощности возникают помеховые составляющие в полосе сигналов. Для разделения спектров отдельных сигналов вводятся защитные частотные интервалы, снижающие пропускную способность РТР. Для обеспечения заданного качества связи разработчиками решается задача оптимизации сигнально-кодовой конструкции и параметров сигналов МС при заданных ограничениях на ширину полосы ствола и вид усилительного прибора.

В докладе проведен сравнительный анализ помехоустойчивости ССС при использовании бортового усилителя РТР на ЛБВ в нелинейном режиме при отборе максимальной мощности и линейной модели того же усилителя. Для одноканальной системы связи вид сигнала задается совокупностью трех параметров: шириной спектра, мощностью сигнала на входе бортового РТР, спектральной плотностью мощности входного шума. Для идеализированной системы вид сигнала задается другими параметрами: шириной полосы пропускания ствола РТР, мощностью сигнала на выходе усилителя РТР, спектральной плотностью мощности входного шума.

В докладе приведены оценки уровней сигнальных составляющих и интермодуляционных компонент спектра группового сигнала на выходе РТР. Также приводятся рассчитанные значения проигрыша пропускной способности ССС в много-сигнальном режиме по сравнению с односигнальным.

И. А. Соболев, студ.; рук. А. Ю. Сизякова, к.т.н., доц. (НИУ«МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ПЕРЕДАТЧИКА МАЯКОВОГО СИГНАЛА ДЛЯ БОРТОВОГО РЕТРАНСЛЯЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

Потребность в использовании данных маяков возникла в связи с развитием систем спутниковой связи и заключается в необходимости идентификации и определении параметров движения искусственного спутника Земли в пространстве с помощью узконаправленных антенн. Для этого на спутник устанавливается маяк или система маяков, в непрерывном режиме передающая служебную информацию. Наличие подобных систем на спутнике позволяет, во-первых, определить его местоположение в пространстве с помощью радиопеленгаторов, а во-вторых, определить номер космического аппарата в составе данной группировки.

Основная задача моей работы — на основании анализа технического задания и обзора предыдущих разработок выбрать новую концепцию функционирования прибора и разработать структурную схему нового передатчика маякового сигнала. Для этого был проведен расчет электрической принципиальной схемы и создана топология печатной платы, реализующей разработанное устройство.

В состав разработанного передатчика сигнала маяка входит: генератор маякового сигнала; генератор опорной частоты; низкочастотный модуль, включающий модуль телеметрической информации и команд управления.

Передатчик сигнала маяка обеспечивает передачу сигналов в следующем формате: режим частотной телеграфии, частоты 3601,00 и 3601,02 МГц, передаваемая служебная информация — номер космического аппарата. Космический аппарат передает пилот сигнал методом частотной телеграфии с разносом 20 кГц. На частоте 3601,00 МГц передается логическая «1». На частоте 3601,02 МГц передается логический «0». Скорость передаваемой информации составляет 50 бит/с.

Приведены энергомассовые характеристики разработанного передатчика маякового сигнала. Полная масса маяка — 1,245 кг. Прибор имеет следующие размеры: длина — 172 мм; ширина — 54 мм; высота — 108 мм. Выходная мощность маяка на начало срока активного существования составляет 1 Вт. Коэффициент стоячей волны на выходе передатчика сигнала маяка составляет 1,25.

Разработанный передатчик сигнала маяка спроектирован при условии функционирования в составе космического аппарата с вероятностью безотказной работы не менее 0,98 в течение 15 лет. Это условие обеспечивается путем применения высококлассных и дорогостоящих комплектующих отечественного производства.

*Соколов И. А. студ.; рук. Дворкович А. В., д.т.н.,
член-корреспондент РАН, профессор (НИУ «МЭИ» г. Москва);*

«РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ OFDM НА БАЗЕ ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И СРАВНЕНИЯ ЕЕ С КЛАССИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ OFDM»

Поскольку спрос на более высокие скорости передачи данных постоянно растет, всегда есть необходимость в разработке более эффективных систем беспроводной связи. Работа, описанная в этом докладе, является попыткой в этом направлении. Описанный метод предлагает лучший PAPR, чем обычная модуляция OFDM, что достигается за счет вейвлет-пакетов (WPM) с приемлемой вычислительной сложностью без использования каких-либо методов обрезки.

В процессе выполнения работы было сделано:

1. Рассмотрена технология OFDM, в основе которой лежит БПФ и проведено сравнение ее с той, в основе которой лежит вейвлет преобразование. Для этого:
 - построена модель OFDM с БПФ;
 - построена модель OFDM на вейвлетах.
2. Рассмотрена проблема пиковой мощности и битовой ошибки: главный недостаток сигналов этих систем — их большая огибающая функция, которая ограничивает эффективность нелинейные усилители мощности, характерные для беспроводных систем связи, вынуждая их работать при более низких показателях средней мощности. Эта проблема определяется количественно. Отношение пиковой мощности к средней мощности (PAPR) в результате получается суперпозиции большого числа обычно статистически независимых подканалов, которые могут конструктивно суммируются с высокими пиками. Различные схемы разрабатываются для снижения высокого PAPR в OFDM, и WPM сигналов [1–3].

По результатам моделирования, проведена оценка полученных результатов и сделаны выводы.

Литература

1. **Бакулин М. Г., Крейнделин В. Г., Шлома А. М., Шумов А. П.** Технология OFDM. — М.: Горячая линия — Телеком, 2017.
2. **Ведяскина Ю.** Компактная сеть радиодоступа-ч. 3-физический уровень [Электронный ресурс] // Omoled, 2008–2017. URL: <http://omoled.ru/publications/view/852>.
3. **Nerma M. H. M., Kamel N. S., Varun Jeoti.** BER Performance Analysis of OFDM System Based on Dual — Tree Complex Wavelet Transform in AWGN Channel [Электронный ресурс] // Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Signal Processing, 2009. URL: <http://wseas.us/e-library/conferences/2009/istanbul/SIP-WAV/SIP-WAV-14.pdf>.

Секция 8

КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель секции — к.т.н., доцент Н.М. Скорнякова
Секретарь секции — ассистент Д.Г. Сычёв

*В. Ю. Баринов, студент;
рук. Н. М. Скорнякова, доц., доц. (МЭИ, Москва)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУЗЫРЬКОВ ГАЗА В ВОДЕ МЕТОДОМ ТЕНЕВОЙ АНЕМОМЕТРИИ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ ЧАСТИЦ

В методе ТАИЧ — теневой анемометрии по изображению частиц (в англоязычной литературе PSV — Particle Shadow Velocimetry) используются источники света с мощностью значительно ниже, чем у лазеров [1]. Данный метод вводится как разновидность анемометрии по изображению частиц. В ТАИЧ используется излучение от импульсного источника, такого, как RGB прожектор, направленное по прямой линии на матрицу камеры.

ТАИЧ использует принципиально иной подход, который не основывается на таких принципах, как флуоресценция, рассеяние, когерентность, доплеровское излучение, или расфокусировка, а основан на получении простой тени, отбрасываемой частицей на яркий фон. Это происходит вследствие расположения в линию с нулевой степенью отклонения установки и источника направленного излучения. Изменения контраста дают вариации частица–тень–диаметр и позволяют регулировать диаметр тени путем изменения интенсивности падающего света и других параметров. Схема метода показана на рис. 1.

В схеме установки, основанной на методе ТАИЧ, глубина резкости уменьшается с расстоянием и увеличением апертуры, а использование RGB прожектора позволяет работать со светом различных длин волн.

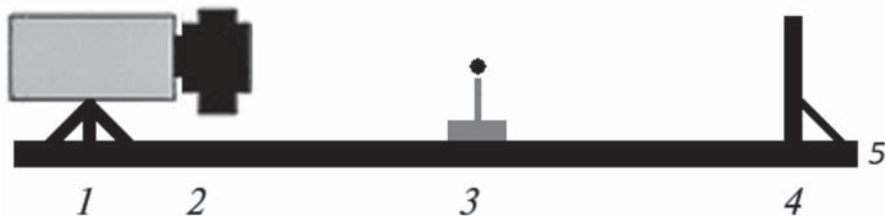


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — камера; 2 — объектив; 3 — исследуемый предмет; 4 — RGB прожектор; оптический стол.

В данном исследовании будет показана работа установки ТАИЧ и представлены зависимости погрешностей измерений при различных фокальном расстоянии, длине волны падающего излучения, диаметре и положении предмета, а также при различных углах падающего излучения.

Литература

1. **Estevadeordal J., Goss L.** PIV with LED: Particle Shadow Velocimetry (PSV).— Innovative Scientific Solutions, Inc., Dayton, OH, 2005.

С. Ю. Белов, студ.; рук. Н. М. Скорнякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПРЯМОТЕНЕВЫМ МЕТОДОМ

Обычно в научных исследованиях турбулентность характеризуется скоростями или числами Рейнольдса. Но наличие турбулентности в исследуемой среде приводит также к неоднородностям распределения показателя преломления по объему среды [1]. Следовательно, при использовании оптических методов наблюдения, в результат вносятся некоторые искажения, о которых исследователь может и не подозревать. Это значит, что в таком случае оптический метод теряет свою точность даже несмотря на то, что все необходимые условия выполнения эксперимента были соблюдены. Имея физическую модель турбулентности можно оценить ее влияние на работу оптического метода.

В настоящее время имеется множество оптических методов для исследования и диагностики в разных областях науки и техники [2]. В зависимости от поставленной задачи, а также от дополнительных факторов, на выполнение эксперимента могут накладываться свои ограничения. Наиболее простым методом визуализации потоков является прямотеневая метод, регистрирующий вторую производную показателя преломления среды.

В ходе работы был проведен эксперимент, где в качестве исследуемой высокотемпературной модели турбулентности использовался фен, имеющий регулировку температуры нагревательного элемента в диапазоне от 50 до 650°C. При помощи прямотеневого метода были получены картины турбулентного потока. В ходе работы выяснилось, что использование этого метода без модификаций далеко не всегда дает хорошие результаты. В связи с этим были определены способы возможной модернизации схемы для значительного улучшения качества визуализации моделей турбулентности.

Данное исследование направлено на анализ визуализации различных моделей турбулентности при помощи оптических методов, и может быть применено для разработки систем обнаружения турбулентностей в различных средах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 16-07-01256 А).

Литература

1. **Зуев В. Е., Банах В. А., Покасов В. В.** Современные проблемы атмосферной оптики. В 9 т. Т. 5. Оптика турбулентной атмосферы. — Л.: Гидрометеоздат, 1988.
2. Современные оптические методы исследования потоков: Коллективная монография / Под ред. Б. С. Ринкевичюса. — М.: Оверлей, 2011.

*С. О. Гарькавый, аспирант;
рук. В. Л. Матухин, д. ф.-м. н., проф. (КГЭУ, Казань)*

ЯМР-ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ

Халькопирит CuFeS_2 является магнитным полупроводником [1–3]. Особый интерес вызывают его термоэлектрические свойства, обнаруженные у природных образцов, полученных из гидротермальных рудопроявлений островных дуг Тихого океана [4]. Данное исследование заключается в сравнительном изучении спектров ядерного магнитного резонанса (ЯМР) $^{63,65}\text{Cu}$ в локальном поле образцов халькопирита, имеющих океаническое происхождение, с целью получения сведений о дефектной структуре этих минералов. Исследованные образцы халькопирита были получены из гидротермальных полей «Семенов-2» (на площади Российского разведочного района Срединно-Атлантического хребта) и «Сольвара-1» (в задуговом бассейне восточный Манус, Тихий океан, море Бисмарка). Образцы представляют собой поликристаллические порошки с размером зерен 0.3–1 мм. Измерения спектров проводились на многоимпульсном спектрометре Testmag-Redstone. Спектры ЯМР $^{63,65}\text{Cu}$ были получены при температуре 300 К. В спектре каждого из исследованных образцов обнаружилось по 6 резонансных линий, характеристики которых соответствуют линиям халькопирита. Главной особенностью наблюдаемых спектров ЯМР $^{63,65}\text{Cu}$ в образцах CuFeS_2 , полученных из гидротермальных полей, является асимметричная форма центральной линии, что предполагает присутствие, как минимум, двух перекрывающихся линий, что указывает на существование вблизи резонансных ядер структурных областей с различным типом искажений. Такие области могут быть связаны с нарушением упорядоченного расположения атомов Fe и Cu в металлической подрешетке халькопирита. Полученные результаты демонстрируют сравнительно меньший уровень дефектности образца из задугового бассейна Восточный Манус Тихого океана, ширина центральной экспериментальной линии $\Delta\nu$ (^{63}Cu) образца «Сольвара-1» — 92 кГц, что в полтора раза меньше, чем в образце «Семенов-2» — 137 кГц.

Литература

1. **Li J., Tan Q., Li J.** // J. Alloys Compd. — 2013. — Vol. 551. — P. 143.
2. **Tsujii N.** // J. Electron. Mater. — 2013. — Vol. 42. — P. 1974.
3. **Tsujii N., Mori T., Isoda Y.** // J. Electron. Mater. — 2014. — Vol. 43, N 6. — P. 2371.
4. **Ang R., Khan A. U., Tsujii N., Takai K., Nakamura R., Mori T.** *Angew // Chem. Int. Ed.* — 2015. — Vol. 54, N 44. — P. 12909.

В. С. Григорьев, магистр; В. В. Близнюк, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ НА ИХ ВЫХОДНОМ ЗЕРКАЛЕ С УЧЕТОМ ВЕКТОРНОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

Явление дифракции является основополагающим в оптике, лазерной физике, теории антенн и других смежных областях. Существует большое количество физико-математических подходов к решению задач дифракции.

Наиболее общим подходом является решение векторных уравнений Максвелла, однако при решении конкретных задач обычно допускают некоторые физические упрощения и приближения. Интеграл Кирхгофа позволяет вычислять дифракцию по какой-либо поверхности, но область применения скалярного интеграла Кирхгофа весьма узка. Это обусловлено отсутствием в скалярном волновом уравнении информации об изменении направления поля. Из чего можно заключить, что классический интеграл Кирхгофа справедлив лишь в узком телесном угле (порядка 2–3°).

Обобщением метода Кирхгофа на векторную теорию дифракции является введение поляризаационного потенциала или вектора Герца, которое позволяет учитывать векторную информацию о поле дифракционной картины. Это позволяет строго рассчитать интеграл Кирхгофа с использованием вектора Герца, а выражения для векторных полей E и H получить путем дифференцирования этого потенциала.

Состояние поляризации излучения лазерных диодов обусловлено потерями и генерацией в волноводе ТЕ- и ТМ-ортогональных мод, являющихся линейно поляризованными. По нашему мнению, дифракция ТЕ- и ТМ-компонент излучения протекает по разным законам, что обусловлено ортогональной поляризацией этих компонент.

Данная работа посвящена исследованию угловой зависимости как контраста излучения одномодовых лазерных диодов в свободное пространство, так и интенсивности этого излучения; моделированию их поля излучения, а также сравнению экспериментальных и расчетных параметров поля излучения планарных лазерных диодов в дальней зоне.

Литература

1. **Низьев В. Г.** Дипольно-волновая теория дифракции электромагнитного излучения // Успехи физических наук. 2002. Т. 172, № 5, С. 601–607
2. **Ищенко Е. Ф., Соколов А. Л.** Поляризаационный анализ. — М.: Знак, 1998, — 206 с.

Н. С. Ильина, студ.; В. В. Близнюк, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ С КВАНТОВОРАЗМЕРНЫМИ ГЕТЕРОСТРУКТУРАМИ, ОСНОВАННАЯ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПИНХОЛА

Рассмотрены и сопоставлены две методики измерений спектров излучения планарных лазерных диодов. Первая методика заключается, согласно [1], в преобразовании фотодиодом светового воздействия лазерного излучения, прошедшего через дифракционный монохроматор МДР-23, в электрический сигнал. Этот сигнал подается на АЦП и с использованием программного обеспечения визуализируется на экране монитора, и сохраняется в виде массива чисел. Согласно второй методике выходная щель монохроматора выводится из оптической схемы, а излучение, отраженное от дифракционной решетки, падает на линейку пикселей, расположенную в ее фокальной плоскости. Линейка калибруется на трех длинах волн: 0,532; 0,6328 и 1,064 мкм. В случае монохроматора МДР-23 с решеткой 1200 штр/мм средняя линейная дисперсия равно 2,37 нм/мм. В этом случае спектральная полоса, регистрируемая одним пикселем шириной 8 мкм, будет равно 0,02 нм. При ширине линии излучения лазерного диода порядка 1–2 нм в пределах линии умещается от 50 до 100 пикселей. При этом отпадает необходимость 50- и 100-кратных измерений с использованием пинхола. Однако при использовании линейки с 3648 пикселей спектральный интервал длин волн, регистрируемый детектором, равен 73 нм, что существенно меньше разности длин волн генерации, выпускаемых промышленностью лазерных диодов. Таким образом, возникает необходимость замены дифракционной решетки, что существенно снижает ценность второй методики и выдвигает на первый план методику, описанную в [1, 2].

Литература

1. ГОСТ Р ИСО13695-2010. Оптика и фотоника. Лазеры и лазерные установки (системы). Методы измерений спектральных характеристик лазеров.
2. **Близнюк В.В., Коваль О.И., Паршин В.А., Ржанов А.Г., Тарасов А.Е.** Особенности температурной зависимости спектральной характеристики диодного лазера с удвоителем частоты генерации / Ученые записки физического факультета Московского университета. № 6. С. 1760701-1-1760701-4.

*Д. В. Ильин, студ.; Вин Тху, асп.;
рук. Н. М. Скорнякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБТЕКАЕМОСТИ ПЛАСТИНЫ ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ

В аэродинамике важную роль играет явление турбулентности, состоящее в возникновении вихрей вследствие произвольного изменения скоростей потока. Данное явление может возникать при обтекании некоторого объекта воздушным потоком.

Для визуализации потоков применяются разнообразные оптические методы, одним из которых является анемометрия по изображениям частиц (АИЧ, Particle image velocimetry — PIV) [1, 2]. Основа АИЧ-метода состоит в записи положений частиц, движущихся в потоке, в два близких момента времени и последующем анализе их смещения в результате обработки полученных изображений. При обработке изображений применяется кросскорреляционный метод, позволяющий получить мгновенное поле скорости потока в измерительной области. Для этого все изображение разбивается на элементарные ячейки (области опроса), идущие с некоторым шагом друг относительно друга. Если в области опроса имеется хотя бы одна пара частиц, то в этом случае можно определить их смещения. Таким способом может быть получено векторное поле скоростей частиц в потоке [3].

Проводится экспериментальное исследование обтекаемости пластины воздушным потоком. Металлическая пластина, имеющая шероховатую поверхность, помещается в лабораторную аэродинамическую трубу. Видеокамерой регистрируются изображения проходящего через лазерную плоскость потока с частицами при обтекании им пластины, в результате обработки которых получены векторные поля скоростей в потоке.

Получаемые векторные поля позволяют проводить исследование структуры поверхности пластин для поиска оптимального решения в задачах аэродинамики.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 16-07-01256 А).

Литература

1. **Adrian R. J.** Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics // Annu. Rev. Fluid Mech. 1991. V 23. P. 261.
2. **Raffel M. e. a.** Particle Image Velocimetry. Springer, 2007.
3. **Евтихиева О. А., Шашкова И. А., Скорнякова Н. М.** Визуализация пленочного течения жидкости методом анемометрии по изображениям частиц // Вестник МЭИ. № 3. 2015. С. 71–73.

*Ю. В. Иванова, студент;
рук. К. М. Лапицкий, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ И КОРРЕКЦИЯ ИХ ИСКАЖЕНИЙ ПРИ ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ

Теневой фоновый метод (ТФМ) применяется для обнаружения неоднородностей в оптически прозрачных средах, а также недостатков различных отражающих поверхностей. В состав установки ТФМ входит компьютер, цифровая видеокамера, источник возмущений, фоновый экран с нанесенной определенной структурой (например, точки, расположенные в хаотическом порядке), а также лампа для подсветки экрана. Структурированный экран расположен за объектом исследования, видеокамера служит для регистрации изображения экрана. В результате эксперимента получают два изображения: в отсутствие и при наличии неоднородности. При этом области изображения, на пути которых не оказалось неоднородностей, не должны исказиться. В процессе регистрации изображений различные паразитные факторы могут приводить к дополнительным искажениям даже при отсутствии неоднородностей. Таким образом, актуальна задача разделения двух типов искажений изображений.

Было предложено провести исследование искажений изображения по положению и форме прямоугольной метки, которая наносится дополнительно на фоновый экран перед регистрацией. Автором разработаны алгоритмы компенсации смещений и поворота изображения на основе аффинных преобразований. Поиск метки может осуществляться при различных уровнях засветки повышением контрастности изображения.

Алгоритм был протестирован на изображениях экрана ТФМ, полученных при различных углах поворота камеры. По разности положений меток на двух изображениях определяется величина смещения искаженного изображения относительно исходного. На основе полиномиальной модели [1] произведен поиск коэффициентов, связывающих координаты опорных точек на двух изображениях. Затем проводилось преобразование координат всех пикселей искаженного изображения, после чего преобразованное изображение сравнивалось с исходным. Отмечено появление на преобразованном изображении областей с неопределенной яркостью пикселей, подлежащих последующему устранению.

Литература

1. **Poroikov A. Yu., Boden F., Kirmse T., Rinkevichyus B. S., Skornyakova N. M., Shashkova I. A.** Accuracy of Measurement of Dynamic Surface Deformations by the Image Pattern Correlation Technique // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. 2014. Vol. 50, No. 5. P. 474–481.

И. А. Корсаков, студ.; В. В. Близнюк, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПТИКО- ЭЛЕКТРОННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ

В настоящее время широко используются в различных лазерных измерительных системах полосковые лазерные диоды (далее — ЛД). В связи с расширением производства ЛД и областей их применения, возникает проблема быстрого контроля качества выпускаемой продукции со стороны производителя, и входного контроля со стороны потребителя. Отбраковка ЛД на предприятиях-изготовителях снижает риск рекламаций, а входной контроль у потребителей — риск выхода из строя измерительных систем, в состав которых включены ЛД. В то же время представляет интерес аккуратные измерения важнейшей характеристики излучения ЛД — диаграммы направленности в плоскости р-п перехода (далее — горизонтальной плоскости) и в плоскости перпендикулярной плоскости р-п перехода (далее — вертикальной плоскости). Такие измерения требуют автоматизации, так как связаны с получением большого массива чисел из-за сильной расходимости излучения ЛД. Разрабатываемая система диагностики позволяет существенно сократить время, как выходного, так и входного контроля ЛД. При решении этой задачи необходимо учитывать, с каким угловым шагом следует проводить измерения диаграммы направленности. Уменьшение шага приводит к более тщательному исследованию профиля лазерного пучка как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости, но при этом увеличивается время измерения диаграммы и может возрасти погрешность, обусловленная нестабильностью мощности генерации диагностируемого лазерного диода. Увеличение шага не позволяет качественно изменить профиль пучка в горизонтальной плоскости, где угол расходимости не превышает 6–8°. Установлено, что оптимальное значение шага равно 0,9°. Показано, что использование пинхола позволяет максимально упростить методику измерений и вполне бюджетно обеспечить их измерительными приборами.

Литература

1. Айхлер Ю., Айхлер Г. И. Лазеры. Исполнение, управление, применение. — М.: Технофера, 2012. — 496 с.

Д. А. Кошелев, студ.;
рук., Н. М. Скорнякова, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ПРИНЦИПЫ СИСТЕМЫ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДИСПЕРГИРОВАННОГО ГАЗОЖИДКОСТНОГО ПОТОКА

Измерения проводились с использованием метода анемометрии по изображениям частиц (АИЧ), который применяется для изучения характеристик потоков в жидкостях и газах [1]. Этот метод позволяет получать векторное поле, соответствующее распределению скорости потока и производить его визуализацию в плоскости в некотором сечении исследуемого объема. Информацию о скорости частиц в потоке можно получить из кросскорреляционной обработки двух изображений, снятых последовательно друг за другом с малым промежутком времени между ними.

В установке используется лазерный модуль, луч которого, проходя через оптическую систему формирования излучения, преобразуется в расходящуюся плоскость лазерного излучения и засвечивает газожидкостный поток в определенном сечении (рисунок). В исследуемый поток искусственно вводятся специальные сильно рассеивающие частицы (трассеры), изображение которых и наблюдается с помощью цифровой видеокамеры.

Трассерами в данном эксперименте являются сами капли потока. Высокоскоростная камера снимает засвеченный поток на затемненном фоне с определенной частотой кадров. Обработка изображений позволяет рассчитать смещения частиц между двумя последовательно записанными кадрами при помощи кросскорреляционного анализа. Изображения разбиваются на расчетные области равного размера. Скорость распространения частиц аэрозоля определяется по абсолютной величине вектора смещения частиц.

В результате обработки полученных фотографий было получено двумерное поле распределения скоростей частиц в засвеченной области.



Литература

1. **Raffel M., Willert C.E., Kompenhans J.** Particle image velocimetry. A practical guide. Corrected 3rd printing. Springer, Germany, Berlin. 1998.

М. С. Ломаев, студ.;
рук. Н. М. Скорнякова, доц., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТЕНЕВОГО ФОНОВОГО МЕТОДА

При бурном развитии научных видеокамер со все улучшающимися характеристиками, при больших вычислительных мощностях современных компьютеров, развиваются новые методы обработки экспериментальных результатов оптических методов диагностики.

В частности большой интерес вызывает применение вейвлет-преобразования к обработке изображений теневого фонового метода. В отличие от Фурье-преобразования, Вейвлет преобразование позволяет получить частотно-временные характеристики сигналов. Это позволяет с большой точностью анализировать нестационарные сигналы.

В данной работе продемонстрирована визуализация градиента показателя преломления с использованием вейвлет-преобразования. В качестве фонового экрана используется структурированное периодическое изображение, расположенное за исследуемой оптической неоднородностью, регистрируемое при помощи видеокамеры. Таким образом, локальные изменения периода изображения соответствуют изменению градиента показателя преломления.

Обработка изображения выполняется следующим образом: сначала выполняется непрерывное вейвлет-преобразование для каждой строки изображения, что на выходе дает трехмерное распределение вейвлет-коэффициентов, далее, из этого распределения находят координаты (номер пикселя в строке) и частота материнского вейвлета, соответствующие максимальному значению коэффициента. Выходит, что для каждой строки изображения получаем двумерное распределение частот, и, обработав все строки, можно составить поверхность, отображающую частотные распределения вдоль одной оси на изображении.

Аналогичные операции выполняются для всех столбцов изображения, чтобы получить распределения частот по второй оси, после чего формируется итоговое распределение из двух предыдущих. Как итог, через изменение периода изображения фонового экрана можно перейти к визуализации изменения градиента показателя преломления.

Литература

1. **Скорнякова Н. М.** Теневой фоновый метод // Современные оптические методы исследования потоков / Под ред. Б. С. Ринкевичюса. — М.: Оверлей, 2011.
2. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В. А. Сойфера. — М.: Физматлит, 2001.

А. С. Мацюк, студ.; рук. О. В. Печинская, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ФОКАЛЬНЫЙ УЗЕЛ ДЛЯ КРУПНОГАБАРИТНОГО АВТОКОЛЛИМАТОРА

В настоящее время возрос интерес к широкопольным системам обзора космического пространства со светосильными объективами, световые диаметры которых достигают 300 мм. Контроль качества изготовления и сборка объективов с фотоприемными устройствами выполняются с использованием коллиматоров со световым диаметром, превышающим диаметр объектива. Крупногабаритные коллиматоры не выпускаются серийно, а разрабатываются под конкретные задачи.

В программе Zemax автором был смоделирован фокальный узел для автоколлиматора на базе объектива Телогоир-12МК со световым диаметром 345 мм.

Применение цифровых матричных приемников позволит проводить количественные измерения угловых смещений. Отличительной особенностью схемы является наличие плоского контрольного зеркала, обеспечивающего контроль сохранности фокусировки. Фокальный узел рассчитан для работы с осевыми пучками на длине волны 614 нм; радиус кружка рассеяния (RMS) не превышает 2,48 мкм; доля энергии в кружке 80%. В расчете использованы стекла отечественных марок из каталога ЛЗОС. Преломляющие поверхности линз сферические. Схема может быть дополнена редуктором фокуса и цветными светофильтрами для работы в другом спектральном диапазоне.

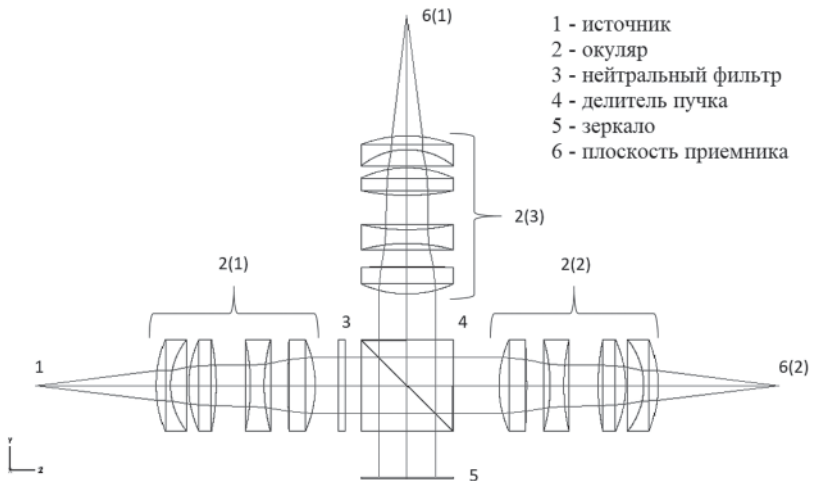


Рис. 1. Принципиальная схема фокального узла

Литература

1. **Zemax® Optical Design Program** Руководство пользователя, 2016; Доступ к электронному ресурсу: http://optdesign.narod.ru/zemax/zemax_rus.pdf.

Е. С. Минаков, студент; В. А. Конюшкин, рук. П. Г. Зверев,
д. ф. м. н., доц. (НИУ МЭИ, ИОФ РАН, Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ ФТОРИДА КАЛЬЦИЯ, ЛЕГИРОВАННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ

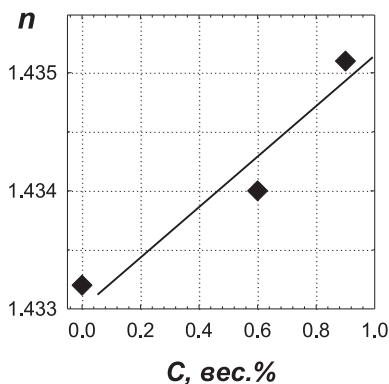


Рис. 1. Зависимость показателя преломления n от концентрации C примеси кристаллов $\text{CaF}_2 \cdot \text{Ho}^{3+}$

Известно, что легирование кристаллов примесью РЗИ приводит к изменению постоянной кристаллической решетки и, следовательно, показателя преломления кристалла [2]. С помощью рефрактометра Аббе в работе был исследован показатель преломления кристаллов CaF_2 , активированных ионами Ho^{3+} . Из рис. 1 видно, что повышение концентрации примеси C приводит к линейному росту показателя преломления n , что хорошо согласуется с теоретическим анализом [2]. Дифференциальный коэффициент dn/dC для исследованных кристаллов составил $2,1 \cdot 10^{-3}$.

Планарные волноводы являются необходимым компонентом разрабатываемых оптических компьютеров. Поэтому создание новых материалов для планарных волноводов, исследование их оптических и теплофизических характеристик является актуальной задачей современной лазерной физики. Кристаллы простых фторидов обладают широкой областью прозрачности от 0,16 до 10 мкм и представляют большой интерес, так как они могут быть легированы редкоземельными ионами (РЗИ) с высокой концентрацией, а также использоваться для создания планарных волноводов на основе монокристаллов и нанокерамики [1].

В настоящей работе исследовано влияние легирования РЗИ на оптические свойства фторидных кристаллов. На спектрофотометре Cary-5000 измерены спектры поглощения образцов кристаллов CaF_2 , активированных ионами тербия (Tb^{3+}), гольмия (Ho^{3+}) и иттербия (Yb^{3+}) с различной концентрацией примеси. В спектрах поглощения идентифицированы энергетические уровни РЗИ и исследована зависимость интенсивности пиков полос поглощения от концентрации РЗИ.

В настоящей работе исследовано влияние легирования РЗИ на оптические свойства фторидных кристаллов.

Литература

1. Карасик А. Я., Дорошенко М. Е., Конюшкин В. А. Кристаллические и нанокерамические фторидные планарные волноводы. LAP LAMBERT, 2016.
2. Константинова А. Ф. и др. Вычисление показателя преломления в кристаллах $M_{1-x}R_xF_{2+x}$ ($M=\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}, \text{Cd}, \text{Pb}$; $R = \text{РЗЭ}$) // Кристаллография. 2010. Т. 55. № 6.

И. С. Молодцов, студ.;
рук. Н. М. Скорнякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ ЛАЗЕРНОГО ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО МЕТОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИЛЬБЕРТ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Представлен алгоритм обработки интерференционной картины от пузырька воздуха в воде, в основе которого лежит Гильберт-преобразование [1]. Метод позволяет определять мгновенную частоту и фазу интерференционной картины. Данные результаты важны для последующего определения формы, скорости и размера пузырька.

Суть работы лазерного интерференционного метода состоит в регистрации изображения объекта, находящегося вне фокуса регистрирующей оптики. В результате на изображении видна интерференционная картина, период которой соответствует диаметру исследуемого пузырька [3]. Изменение формы пузырька вызывает отклонение от параллельности полос интерференционной картины.

Применяя преобразования Гильберта (1) к каждому элементу исходной матрицы яркостей изображения (по выбранному сечению), были рассчитаны мгновенная фаза (2) и частота (3) по соответствующим формулам [2].

Таким образом, основываясь на преобразовании Гильберта, путем вычислений были получены изменения мгновенной фазы и частоты, которые необходимы для расчета формы, скорости и размера пузырька [1].

В докладе будут представлены экспериментальные изображения движущихся пузырьков воздуха различного диаметра в воде. Показана методика выделения интересующего сечения и результаты Гильберт-преобразования.

$$\hat{x} = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{t - \tau} d\tau \quad (1)$$

$$\varphi_f(t) = \arctg\left(\frac{\hat{f}(t)}{f(t)}\right) \quad (2)$$

$$\omega_f(t) = \frac{d}{dt} \arctg\left(\frac{\hat{f}(t)}{f(t)}\right) = \frac{\hat{f}'(t) \cdot f(t) - \hat{f}(t) \cdot f'(t)}{\hat{f}^2(t) + f^2(t)} \quad (3)$$

Литература

1. **Скорнякова Н.М., Молодцов И.С.** Обработка изображения лазерного интерференционного метода с применением Гильберт-преобразования // Оптические методы исследования потоков., 2017.
2. **Сороко Л.М.** Гильберт-оптика, М.: Наука, 1981. 159 с.
3. **Михалев А.С.** Оптико-электронный комплекс одновременного измерения параметров движущихся пузырьков газа или капель жидкости, 2009. 139 с.

В. А. Паршин, асп.; О. А. Евтихиева, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ ОДНОМОДОВОГО ЛАЗЕРНОГО ДИОДА НА ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЕГО НЕКОЛЛИМИРОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В настоящее время во многих областях науки и техники широко применяются лазерные диоды (далее — ЛД). Их преимущество по сравнению с другими типами лазеров определяется высоким КПД (более 70%) и малыми габаритами. Также, принимая во внимание последние достижения в технологии производства приборов квантовой электроники, оптимизируется такой важный параметр, как когерентность излучения ЛД, по которому ЛД уступали другим типам лазеров. Таким образом, складывается ситуация, когда наряду с волоконными лазерами ЛД будут и далее постепенно вытеснять твердотельные и газовые лазеры в различных областях науки, техники и медицины [1].

Важным технико-экономическим параметром ЛД является его срок службы, который определяется качеством гетероструктуры. При этом выходные параметры излучения в свободное пространство ЛД также зависят от ее фундаментальных свойств. В связи с этим представляет интерес исследование влияния деградационных изменений внутри волновода ЛД на параметры их излучения в свободное пространство: диаграмма направленности и угловое распределение состояния поляризации — с целью прогнозирования срока службы.

Состояние поляризации излучения ЛД с квантовыми ямами и без них обуславливается механизмами потерь и генерации ТЕ и ТМ ортогональных латеральных мод, являющихся линейно поляризованными и обладающими практически нулевой степенью взаимной когерентности. Эти механизмы зависят от структуры волновода и параметров активной области. Таким образом, соотношение их амплитуд по всей диаграмме направленности или ее некоторой области характеризует внутреннее состояние гетероструктуры ЛД. При этом контроль изменений состояния поляризации излучения в течение времени наработки позволяет говорить о скорости деградации внутренней структуры ЛД, что дает возможность в дальнейшем спрогнозировать его срок службы.

Данная работа посвящена исследованию зависимости состояния поляризации излучения одномодовых ЛД в свободное пространство от их деградации при разных временах наработки.

Литература

1. Айхлер Ю., Айхлер Г. И. Лазеры. Исполнение, управление, применение. — М.: Техносфера, 2012. — 496 с.

О. В. Печинская, асп.;
рук., Н. М. Скорнякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ДИАГНОСТИКА ОПТИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ С АДАПТЕРОМ ШАЙМПФЛЮГА

Диагностика неоднородностей стекла (пузырей, свилей) может быть проведена в когерентном излучении. Для визуализации неоднородностей часто применяют лазерную плоскость, в которую помещают исследуемый объект. При изменении угла наблюдения изменяется освещенность в изображении исследуемого объекта. Согласно принципу Шаймпфлюга [1] для получения изображений более высокого качества, необходимо согласовать угол наклона матрицы α и угол наблюдения θ :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{f'}{A \operatorname{tg} \theta},$$

где f' — фокусное расстояние объектива, A — расстояние наведения.

Проведена серия экспериментов по определению оптимального угла наклона матрицы α для различных углов наблюдения. Регистрация изображений выполнялась в диапазоне углов наблюдения θ от 90° до 30° с наклоном матрицы относительно визирной оси объектива. В контрольной серии измерений плоскость объектива и матрицы параллельны друг другу (без взаимных наклонов) и перпендикулярны оптической оси.

При размещении объекта на оси вращения системы регистрации изображений, минимальном расстоянии наведения и больших диафрагменных числах, для любого угла наблюдения объект не выходит из области резко изображаемого пространства. В случае размещения исследуемого объекта не на оси вращения при изменении угла наблюдения резко изображается небольшая часть исследуемого объекта в центре поля зрения. Область резко изображаемого пространства ориентирована параллельно оси вращения адаптера Шаймпфлюга. Изображение по краям поля зрения сильно расфокусировано. При изменении угла наклона матрицы область резко изображаемого пространства смещается в поперечном направлении. Изменяя угол наклона матрицы можно сканировать плоскость кадра.

Прорабатывается методика количественного определения оптимального угла наклона матрицы в системах диагностики оптических неоднородностей с адаптером Шаймпфлюга.

Литература

1. **Harold M. Merklinger**, Focusing the View Camera. Published by the author: Harold M. Merklinger P.O. Box 494 Dartmouth, Nova Scotia Canada, B2Y 3Y8. Internet Edition (v. 1.6.1) 8 Jan 2007.

*Д. А. Пояцыка, студент;
рук. Н. М. Скорнякова, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ, Москва)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСКАЖЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ПЛОСКОСТИ С УЧЕТОМ ФОРМУЛ ФРЕНЕЛЯ И АБЕРРАЦИЙ

В настоящее время во многих имитационных и испытательных стендах для исследования потоков жидкости и газа используются стеклянные сосуды цилиндрической формы. Для исследования потоков может, например, использоваться метод анемометрии по изображениям частиц [1] с использованием структурированного лазерного излучения (СЛИ), представляющего собой лазерную плоскость [2]. При регистрации картин анемометрии по изображениям частиц необходимо учитывать, что стенки цилиндрического сосуда вносят искажения в процесс распространения лазерной плоскости.

Был проведен расчет искажения формы лазерной плоскости при прохождении системы с воздухом в полости цилиндра на основе теории действительных лучей в приближении геометрической оптики. Построены теоретические изображения лазерной плоскости на экране.

Было проведено экспериментальное исследование искажений лазерной плоскости. Было выяснено, что наличие цилиндра вносит искажения в распространение лазерной плоскости до 17%. Также выполнен сравнительный анализ теоретических расчетов и полученных результатов. Получено, что результаты теоретического расчета в рамках геометрической оптики не полностью соответствуют экспериментальным результатам.

Для получения более точного соответствия был проведен расчет с учетом формул Френеля (в приближении физической оптики). Так же, были учтено влияние монохроматических аберраций, вносимых стенками цилиндра, на распространение лазерной плоскости. Расчет производился исходя из предположения о наличии сферической аберрации, астигматизма, кривизны поля, комы и дисторсии.

Показаны сравнительные изображения лазерной плоскости в случае экспериментального исследования и каждого из трех случаев расчета.

Литература

1. **Raffel M., Willert C. E., Wereley S. T.** Particle Image Velocimetry, Springer, 2007.
2. **Евтихиева О. А., Расковская И. Л., Ринкевичюс Б. С.** Лазерная рефрактография. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 176 с.
3. **Борн М., Вольф Э.** Основы оптики. М.: Наука, 1973.

Е. Д. Сангаджиева, студ.;
рук. О. В. Печинская, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ РЕЗКОСТИ В ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С НАКЛОНОМ ОБЪЕКТИВА

В последнее время в оптических исследованиях часто применяют системы регистрации изображений, в которых визирная ось объектива не перпендикулярна плоскости наведения и матрицы. Большое распространение получили стереосистемы для трехмерного анализа с наклоном объектива или матрицы. В стереосистемах выполняется калибровка для коррекции перспективных искажений [1, 2], но не проводится измерение глубины резкости. Для повышения точности измерений оптическими методами необходимо учитывать изменение глубины резкости при наклоне объектива.

Проведено исследование по определению области резко изображаемого пространства в системе с наклонным объективом. Область резко изображаемого пространства определяется распределением контраста по полю изображения. Контраст снижается при ухудшении резкости. Можно визуализировать распределение контраста по плоскости кадра. На рисунке 1 приведены примеры полученных изображений.

Прорабатывается методика количественного определения размера области резко изображаемого пространства в системах с наклоном объектива.

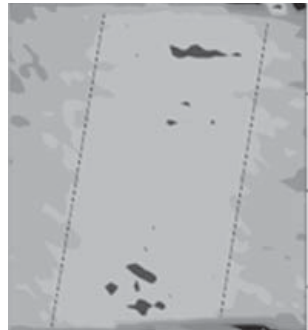
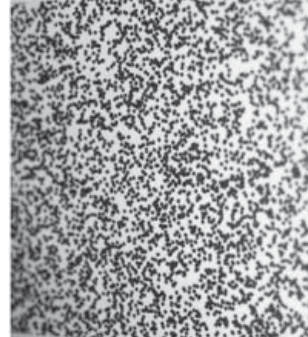


Рис. 1. Пример фонового изображения и распределения контраста по кадру

Литература

1. **J. Li, Y. Guo, J. Zhu, X. Lin, Y. Xin, K. Duan, Q. Tang** Large Depth-of-view portable three-dimensional laser scanner and its segmental calibration for robot vision. *Optics and Laser in Engineering*, 2007, vol. 45, pp. 1077–1087.
2. **E. Nocerino, F. Menna, F. Remondino, J.-A. Beraldin, I. Cournoyer, G. Reain** Experiments of calibrating tilt-shift lenses for close-range photogrammetry. *XXIII ISPRS Congress, Volume XLI-B5*, pp. 99–105, doi: 10.5194/isprarchives-XLI-B5-99-2016

*И. В. Смирнов, студ.; Г. В. Шилова, асп.;
рук. П. Г. Зверев, д. ф. м. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОЧАСТОТНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ЛАЗЕРА НА КРИСТАЛЛЕ Nd: YAP С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

В настоящее время большой интерес представляют работы по созданию эффективных, надежных и компактных источников терагерцевого излучения. Одним из перспективных путей получения терагерцевого излучения является использование двухчастотных лазеров с последующей генерацией разностной частоты в нелинейных кристаллах [1]. Для этого представляется перспективной реализация двух и многочастотных лазеров

В ионах Nd^{3+} в анизотропном кристалле YAP на переходе ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ наблюдаются три интенсивные линии люминесценции на длинах волн 1064, 1072 и 1079 нм для разных ориентаций кристалла. Поэтому в Nd^{3+} : YAP лазере можно получить многочастотную генерацию.

В работе был создан и исследован твердотельный лазер на кристалле Nd^{3+} : YAP с диодной накачкой и получена двухчастотная генерация на длинах волн 1064 и 1072, 1072 и 1079 (рис. 1). Внесение внутрирезонаторных спектрально селективных потерь с помощью анизотропной пластинки или призмы Глана позволило перестраивать генерируемую длину волны. Обсуждается возможность получения трехчастотной генерации в таком лазере.

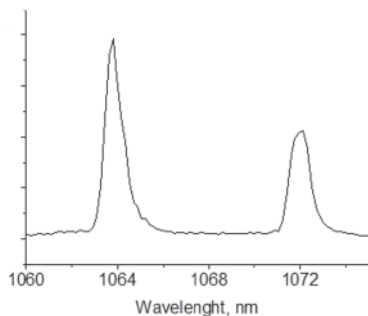


Рис. 1. График линий генераций твердотельного лазера на кристалле YAP:Nd

Литература

1. Стебунов Ю. В., Лейман В. Г., Арсенин А. В., Гладун А. Д., Рыжий В. И. Резонансный детектор модулированного излучения терагерцевого диапазона на основе углеродных трубок // ЖТФ. 2012. Т. 82. № 1.

Р. В. Кривоногов, магистр.;
В. В. Близнюк, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛД В ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН ОТ 630 ДО 650 НМ

В настоящее время методы измерений диаграмм направленности излучения лазерных диодов базируются на анализе диаграмм направленности в плоскости *p-n*-перехода (далее — горизонтальной плоскости) и перпендикулярной *p-n* переходу (далее — вертикальной плоскости) [1]. Технически измерение сводится к преобразованию излучения, попадающего на малую площадку неподвижного фотодиода при различных углах поворота лазерных диодов, а значит, и оси лазерного пучка. Такая методика возможна благодаря малым размерам модулей лазерных диодов. Измерение диаграмм выполняется без использования коллимирующей оптики на выходе лазерного модуля. Однако выходные зеркала лазерных диодов расположены, как правило, на расстоянии не менее двух с половиной сантиметров от конца лазерного модуля, что приводит к ограничению значений максимальных углов, под которыми излучение выходит из модуля (не более 30°). В то же время основные события, сигнализирующие об изменении режима генерации лазерного диода, в первую очередь развиваются в периферийной области диаграммы направленности при углах от 30 до 45° от оси пучка. Именно там форма диаграммы направленности начинает отклоняться от гауссова профиля и принимает более сложный вид. Для увеличения угла расходимости лазерного пучка на выходе модуля корпус лазерного диода был укорочен так, что выходное зеркало располагалось в плоскости выходного окна модуля. Измерена полная диаграмма направленности лазерного диода, без нарушения работоспособности драйвера. Определены с высокой точностью пороговые значения тока накачки. Отметим, что в одномодовом режиме генерации нормированные угловые зависимости интенсивности излучения в вертикальной и горизонтальной плоскости не зависят от тока накачки, и возможна хорошая аппроксимация этих зависимостей гауссовой функцией. Представлены семейства диаграмм направленности излучения лазеров при разных токах накачки.

Определены токи накачки, при которых гауссово распределение нарушается, что сигнализирует о нарушении одномодового режима генерации. Все измерения проводились в автоматизированном режиме.

Литература

1. **Лютецкий А. В.** и др. Мощные диодные лазеры на основе асимметричных квантово-размерных гетероструктур раздельного ограничения InGaAsP/InP // Физика и техника полупроводников. 2009. Т. 43, вып. 12. С. 1646–1648.

Ш. Ш. Усманова, студ.; рук. М. В. Сапронов, асс. (НИУ «МЭИ»)

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДИФРАКЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В ОПТИКЕ

Работа посвящена моделированию дифракционных картин (ДК) монохроматического и когерентного излучения в приближении Фраунгофера на отверстиях треугольной и эллиптической формы и визуализации их динамики при изменении параметров препятствия.

Явление дифракции света является фундаментальным в физической оптике и подтверждает волновую природу света. На нем основан принцип работы дифракционных решеток — спектральных приборов высокого разрешения. Широко распространены в настоящее время дифракционные оптические элементы. Учет дифракции необходим при расчете оптических систем и лазерных резонаторов [1].

Моделирование основано на том, что распределения интенсивности света в плоскости препятствия и в плоскости соответствующей ДК Фраунгофера являются парой преобразования Фурье [2]. Для компьютерного моделирования используется дискретное преобразование Фурье (1) изображения препятствия [3]. Примеры моделей препятствий и ДК представлены на рис. 1.

$$X(k, l) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} x(m, n) W_M^{km} W_N^{ln}, \quad (1)$$

где x , X — значение интенсивности в плоскости препятствия и Фурье-образа соответственно, N , M — размеры изображения, n , m — дискретные координаты в плоскости препятствия, k , l — дискретные координаты в плоскости Фурье-образа, W — ядро преобразования.

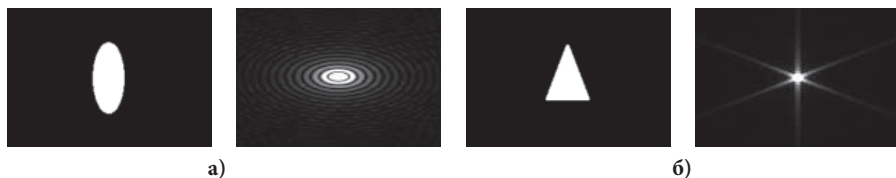


Рис. 1. Результаты моделирования дифракции: а) эллиптическое отверстие (слева) и ДК (справа), б) треугольное отверстие (слева) и ДК (справа)

Полученные результаты имеют перспективы использования в курсах физической оптики и общей физики в качестве учебных материалов.

Литература

1. Евтихийев Н. Н. и др. Информационная оптика. М.: Изд-во МЭИ, 2000.
2. Ахманов С. А., Никитин С. Ю. Физическая оптика. М.: Изд-во МГУ, 2004.
3. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital Image Processing. 3-rd edition, Prentice-Hall, 2008.

*Е. В. Вильшанская (НИУ «МЭИ») аспирант;
С. А. Саакян, В. А. Саутенков, к. ф. -м. н. (ОИВТ РАН);
рук. Б. Б. Зеленер, д. ф. -м. н. (ОИВТ РАН, НИЯУ МИФИ, НИУ МЭИ)*

МАГНИТООПТИЧЕСКАЯ ЛОВУШКА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ УЛЬТРАХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ КАЛЬЦИЯ И ГАЗА УЛЬТРАХОЛОДНЫХ РИДБЕРГОВСКИХ АТОМОВ

В области изучения неидеальной плазмы кальций является удобным объектом исследования. Как и все щелочноземельные металлы, кальций имеет два валентных электрона. После ионизации атома остается еще один электрон на внешней орбите, который имеет сильные оптические переходы, что позволит детектировать ионы с помощью существующего оборудования. В ОИВТ РАН идут работы по лазерному охлаждению [1] и пленению атомов для изучения ансамблей ультрахолодных ридберговских атомов и неидеальной плазмы. На уже существующей установке по лазерному охлаждению атомов лития был проведен захват атомов в магнитооптическую ловушку (МОЛ) и зарегистрированы некоторые ридберговские переходы [2, 3]. Создание установки для захвата атомов кальция является параллельным проектом в работе лаборатории.

Установка представляет собой сложную систему, состоящую из оптической и вакуумной части. Охлаждение и захват в МОЛ нейтральных атомов кальция будет проводиться с помощью диодных лазеров с длиной волны 423 нм и 671 нм. Для стабилизации частоты лазерного излучения были разработаны и спроектированы две долговечные кварцевые кюветы с кальцием и реализована схема стабилизации по резонансам насыщенного поглощения.

Для получения вакуума используются роторный, турбомолекулярный и ионные насосы. Первый этап охлаждения требуется проводить в области с неоднородным распределением магнитного поля. Для этого был рассчитан и собран зеемановских замедлитель, создающий необходимый градиент магнитного поля для начального охлаждения атомного пучка кальция.

Литература

1. **Филиппс У.Д.** Лазерное охлаждение и пленение нейтральных атомов // Успехи физических наук. 1999. Т. 169, № 3. С. 305–322.
2. **Зеленер Б. Б. и др.** О реализации высокой концентрации атомов лития-7 в магнитооптической ловушке // ЖЭТФ. 2014. Т. 146, № 5. С. 909–916.
3. **Зеленер Б. Б. и др.** Запрещенные переходы $2p\text{-}nr$ и $2p\text{-}nf$ в спектре энергий ультрахолодных ридберговских атомов лития-7 // ЖЭТФ. 2016. Т. 149, № 4. С. 750–755.

*А. В. Шершнева, студ., И. И. Коротких;
рук. Н. М. Скорнякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОГО ФАКЕЛА ТЕНЕВЫМ ФОНОВЫМ МЕТОДОМ

Создана экспериментальная установка на базе искрового высоковольтного плазмотрона при атмосферном давлении для исследования процессов в плазменном потоке аргона. Произведена высокоскоростная регистрация стадий развития плазменного факела. Для возможности визуализации структуры развития и поведения плазменного факела применялись светофильтры фиолетовой и ультрафиолетовой областей спектра.

Одновременно с визуализацией производилась регистрация картин теневого фонового метода для получения температурного поля внутри и вокруг плазменного факела. Теневой фоновый метод — бесконтактный оптический метод диагностики, позволяющий диагностировать неоднородности градиента показателя преломления, которые возникают при изменении температуры, давления и т. п.

Для визуализации и последующего определения температурных параметров плазменного потока производилось сравнение снимков фонового экрана при отсутствии потока плазмы со снимками, сделанными при наличии плазменного факела для разных значений давления аргона. Обработка полученных результатов проводилась оконным кросскорреляционным методом. Далее полученное распределение смещений точек фонового экрана нормировалось на показания температурных датчиков на краю изображения. При обработке экспериментальных данных получены распределения температуры и скорости распространения потока плазмы. Данные результаты необходимы для дальнейшего определения параметров плазменного факела.

Литература

1. **Скорнякова Н. М.** Теневой фоновый метод и его применение // Современные оптические методы исследования потоков / Под ред. Б. С. Ринкевичюса. — М.: Оверлей, 2011. — С. 93–106.
2. **Евтихиева О. А., Расковская И. Л., Ринкевичюс Б. С.** Лазерная рефрактография // Физматлит, 2008–176 с.
3. **Железнов Ю. А., Хомич В. Ю.** Экспериментальный метод пассивной оптической диагностики плазмы // Прикладная физика. — 2011. — С. 60–66.

Секция 9 ФОТОНИКА

*Председатель секции — д.т.н., профессор О.А. Попов
Секретарь секции — аспирант П.В. Старшинов*

А. Ю. Басов, асп.; рук. В. П. Будак, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАССЕИВАЮЩЕГО СЛОЯ С ДИФФУЗНОЙ ПОДЛОЖКОЙ

Настоящая работа посвящена созданию математической модели плоскопараллельного рассеивающего слоя с диффузной подложкой.

Рассеивающие среды часто представляют собой сложные нерегулярные структуры. Расчет световых характеристик в таких средах является непростой задачей, связанной с учетом влияния многих факторов: отражения на границах различной формы, рассеяния на частицах, поляризации. Математическая модель рассеивающего слоя с диффузной подложкой является первым шагом в создании более сложной модели, учитывающей все перечисленные факторы. Такая модель позволит повысить точность расчетов при проектировании осветительных установок на объектах, где интерес представляют яркостные характеристики. Также будет решена важная проблема, связанная с невозможностью проведения измерений без модели. Поэтому настоящая работа является актуальной.

Модель основывается на решении уравнения переноса излучения (УПИ). Она учитывает отражение от диффузной подложки. В модель заложена матрица рассеяния согласно теории Ми. В дальнейшем планируется усовершенствовать модель, учесть множество факторов, влияющих на точность расчетов. Моделирование процессов, происходящих в таких структурах, как, например, асфальтобетонные покрытия, требует учета отражения от случайной неровной границы. Некоторые среды можно характеризовать многообразием частиц как по форме, так и по размеру, и по составу, которое тоже необходимо учесть. Поэтому для точных расчетов таких сред необходимо знать их состав и индикатрисы рассеяния частиц. Также в модели планируется учесть поляризацию, которая может сильно повысить точность расчетов в некоторых средах.

Разрабатываемая модель может позволить находить световые характеристики в рассеивающих средах. Модель может быть доработана и применима к различным структурам, покрытиям: лакокрасочные, отделочные материалы, асфальтобетонные покрытия. В результате может быть повышено качество проектирования освещения, где яркостные характеристики играют ключевую роль.

Д. А. Буреева, студ.; рук. О. А. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЛАМПЫ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЕ РАЗГОРАНИЯ

В настоящей работе проведено исследование влияния положения люминесцентной индукционной лампы трансформаторного типа мощностью 80 Вт [1] на характеристики ее разгорания.

Были проведены 3 измерения параметров лампы в горизонтальном положении и по одному измерению в положении «амальгама вверх» и «амальгама вниз». Во всех положениях были измерены световой поток лампы Φ_v , мощность комплекта (ЭПРА + лампа) P и температура штенгеля, где размещалась амальгама ($T_{амл.}$). По измеренным значениям мощности комплекта и светового потока была рассчитана световая отдача лампы η [2].

Экспериментально установлено, что в положении «амальгама вверх» минимально время достижения лампой установившегося режима (3 мин) и максимальны установившиеся значения мощности лампы, ее светового потока и световой отдачи.

Зависимость светового потока от времени разгорания для трех положений лампы представлена на рис. 1.

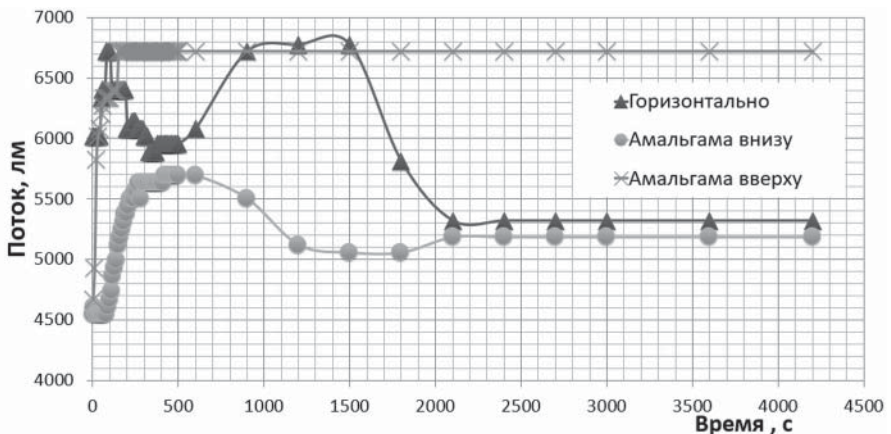


Рис. 1. Зависимость Φ_v от времени разгорания для трех положений лампы

Литература

1. Каталог фирмы ITL (<http://www.itl-light.ru/>).
2. Петров В. М., Шестопалова И. П., Меламед О. М. Световые измерения. Лабораторные работы: Метод. пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 39 с.

М. Е. Федянина, студ.;
рук. П. И. Лазаренко, к.т.н. (НИУ «МИЭТ», Зеленоград)

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АМОРФНЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$

Тонкие пленки халькогенидных полупроводников $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ интенсивно исследуются в настоящее время. Это обусловлено их успешным применением в устройствах фазовой памяти (ФП), в частности в оптических дисках (DVD-RW, Blu-Ray и т. д.) и перспективами создания электрической ФП с произвольным доступом. Принцип работы ФП заключается в фазовых превращениях между аморфным и кристаллическим состояниями под действием низкоэнергетических внешних воздействий, таких как электрический ток или лазерное излучение. При этом происходит резкое изменение оптических и электрофизических свойств [1]. Анализ научно-технической литературы показал, что на оптические свойства тонких пленок ФП значительное влияние оказывают методы осаждения и термообработка. В связи с этим, целью данной работы являлось определение влияния температуры термообработки на оптические свойства и оптическую ширину запрещенной зоны (E_g) тонких пленок $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$.

Исследуемые образцы представляли собой тонкие пленки $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, полученные на стеклянных подложках методом магнетронного распыления мишени. Толщина пленок (~130 нм) контролировалась на атомно-силовом микроскопе NT-MDT Solver Pro. Исследование структуры тонких пленок проводилось на рентгеновском дифрактометре Rigaku Smart LAB. Спектрофотометр Agilent Cary 5000 был использован для измерения спектров пропускания в диапазоне от 200 до 1300 нм. Для оценки оптической ширины запрещенной зоны был использован метод Тауца. В работе исследовались осажденные пленки, а также пленки, прошедшие термообработку при 180 и 400°C в течение 15 мин на воздухе.

Результаты рентгенофазового анализа показали, что исходная пленка является аморфной, термообработка при 180°C приводит к ее кристаллизации в структуру типа fcc, а при 400°C — hcp. При этом кристаллизация сопровождается существенным изменением коэффициента пропускания (28,3, 13,9, 0,4% при $\lambda = 1000$ нм) и E_g (0,67, 0,58, 0,36 эВ) для $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ в аморфном и кристаллических состояниях (fcc и hcp) соответственно.

Литература

1. Козюхин С. А., Цэндин К. Д., Нгуен Х. Ф., Козик В. В. Оптические свойства аморфных тонких пленок // Известия высших учебных заведений. Физика. — 2014. — Т. 57, Вып. 7/2. — С. 67–73.

*Д. Г. Грачев, студ.; рук-ли Л. Г. Новаковский, к.т.н.,
В. П. Будак, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ ФАРЫ ДЛЯ ДВУХКОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

По мере развития науки в практике светотехники возникает все больше вопросов, решение которых требует использования адаптивного светораспределения. Одна из нерешенных на сегодня проблем связана с фарами, установленными на рулевой вилке мотоцикла [1] — при выполнении поворотов из-за его естественного наклона фара наклоняется практически на тот же угол. Как при правом, так и при левом повороте водитель теряет видимость в направлении движения, что само по себе несет опасность для всех участников движения, включая пешеходов. При правом повороте происходит еще и ослепление водителей встречных транспортных средств, превращая тривиальный маневр в критическую с точки зрения безопасности ситуацию.

Решение проблемы, на первый взгляд, очевидно — необходимо стабилизировать положение светового пучка в зависимости от динамических воздействий, возникающих в процессе выполнения поворота. Источником излучения является матрица светодиодов, каждый элемент которой отвечает за свой угловой сегмент в интегральном светораспределении. Во время вождения в инерционно-измерительном блоке транспортного средства в режиме реального времени рассчитывается значение угла наклона. На его основе определяется наиболее оптимальная на данный момент комбинация включения элементов матрицы — угловой сегмент, в пределах которого находится рассчитанное значение угла наклона, генерирует излучение, интенсивность которого прямо пропорциональна степени перекрытия этого сегмента линией горизонта; все сегменты выше — отключены, а ниже — включаются на полную мощность.

В отличие от традиционных светооптических схем формирования предлагаемое решение позволяет избавиться от всех поворотных механизмов, а изменение геометрии светового пучка осуществлять электроникой. При этом геометрические и светотехнические характеристики излучения стабилизированы. Еще одним важным преимуществом разрабатываемой системы является повышенное значение КПД, так как в подавляющем большинстве конструкции двухколесных транспортных средств имеют маломощную энергетическую установку.

Литература

1. **Novakovsky L. G., Koroleva Y. E.** Headlamps with fiber-optic image converters for different applications. — 6th International Symposium on Automotive Lighting, 2005.

А. В. Гримайло, студ.; рук. В. П. Будаков, д. т. н, проф. (НИУ «МЭИ»)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОКРАТНЫХ ОТРАЖЕНИЙ СВЕТА С УЧЕТОМ ПОЛЯРИЗАЦИИ

К настоящему моменту было создано большое количество различных программ, способных визуализировать светораспределение и рассчитывать светотехнические характеристики. Однако, в силу того, что в светотехнике при расчетах традиционно не учитывается поляризация, в том числе и при многократных отражениях (МО), математические модели, используемые в программах, также ее не учитывают.

Согласно существующим на сегодняшний день предположениям [1], различие в значениях, полученных при традиционных расчетах МО и расчетах с учетом степени и характера поляризации, может составлять порядка 20%.

Отсюда вытекает необходимость создания математической модели отражения света от поверхности, учитывающей поляризацию света. Для создания такой модели удобно использовать вектор-параметр Стокса. При этом необходимо представление светового поля как совокупности некогерентных между собой лучей.

Тогда, если уравнения электродинамики линейны и однородны, напряженность электрического поля \mathbf{E}' в световом пучке, испытывавшем взаимодействие с веществом и распространяющемся в некоторой точке \mathbf{r}' в направлении \mathbf{l}' будет линейной однородной функцией вектора \mathbf{E} в световом пучке до взаимодействия, распространяющемся в некоторой точке \mathbf{r} в направлении \mathbf{l} . Таким образом, результат взаимодействия излучения с веществом может быть представлен в виде:

$$E'_i(\mathbf{r}', \mathbf{l}') = \sum_k \mu_{ik}(\mathbf{r}', \mathbf{l}', \mathbf{r}, \mathbf{l}) E_k(\mathbf{r}, \mathbf{l}), \quad (1)$$

где $i, k = 1, 2$; μ_{ik} — компоненты матрицы Мюллера μ описывающей воздействие вещества на световой пучок [2].

В качестве одного из этапов разработки описанной выше модели была создана программа для расчета светораспределения методом Монте-Карло без учета поляризации. Она является основой для создания более сложной программы, учитывающей поляризацию при расчетах.

Литература

1. **Коркин С. В.** Математическая модель отражения поляризованного излучения при дистанционном зондировании мутных сред; Дисс. ... канд. тех. наук. — М., 2009. — 150 с.
2. **Розенберг Г. В.** Вектор-параметр Стокса (Матричные методы учета поляризации излучения в приближении лучевой оптики) // УФН. — 1955. — Т. 56, № 1. — С. 77–110.

А. И. Гусева, студ.; рук. Будаков В. П., д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ МОДЕЛИ CIECAM02



Рис. 1. Реализация программы преобразования изображений на основе модели CIECAM02

Разработана программа преобразования изображений на основе цветовой модели CIECAM02 (рис. 1).

Чтобы ответить на вопрос, насколько хорошо модели цветового восприятия справляются со своей задачей, необходимо поставить психофизический эксперимент. Конечной целью такого эксперимента является решение вопроса о пригодности модели [1].

Для объективной и окончательной оценки различий необходимо рассмотреть изо-

бражения, рассчитанные с помощью различных исследуемых моделей.

Для того чтобы результаты проведения эксперимента были точными, необходимо учесть, что изображение, полученное в результате визуализации выводится на экран с цветовым профилем sRGB, для которого характерны условия наблюдения, близкие к домашним или офисным. В связи с этим при проведении эксперимента изображения будут оцениваться в строго зафиксированных условиях просмотра.

Реалистичность воспроизведения изображения характеризуется степенью отклонения рассматриваемого изображения от некоторого эталона. В нашем случае наблюдателю требуется определить, насколько предоставленная к рассмотрению сцена выполнена реалистично.

Наблюдатель должен будет определить качество изображения по заранее заданной шкале, ему также предоставляется эталонное изображение в качестве ориентира.

Изображениям приписываются баллы, которые соответствуют градациям от «неудовлетворительно» до «отлично» или им подобные.

Для получения надежной оценки качества изображения необходимо опросить от 10 до 20 наблюдателей.

Литература:

1. **Mark D. Fairchild.** Color Appearance Models. — 2nd Ed. — 2004.

*Р. А. Иликеева, студент;
рук. О. А. Попов, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНДУКЦИОННОЙ ЛАМПЫ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ $-40\dots+60^{\circ}\text{C}$

С конца прошлого века безэлектродные лампы, использующие плазму индукционного разряда низкого давления в смеси паров ртути и инертного газа, рассматриваются как перспективные источники оптического излучения в видимом и ультрафиолетовом диапазонах. Одним из типов индукционных ламп низкого давления, применяемых для общего освещения, являются люминесцентные лампы трансформаторного типа (ЛТТ), использующие кольцевые магнитопроводы, работающие на разрешенных частотах 100–400 кГц и мощностях от 50 до 500 Вт в широком интервале температур окружающей среды [1].

В настоящей работе проведены экспериментальные исследования влияния температуры окружающей среды $T_{\text{о.с.}}$ в интервале от -40 до $+60^{\circ}\text{C}$ на характеристики индукционной ЛТТ (фирма ITL), работающей на частоте 215 кГц и мощности 80 Вт [2].

Измерения показали, что в установленном режиме максимальные значения мощности комплекта (лампа + источник питания) $P = 88$ Вт, светового потока лампы $\Phi_V = 6606$ лм и световой отдачи лампы $\eta_V = 76$ лм/Вт достигаются при $T_{\text{о.с.}} = +40\text{--}60^{\circ}\text{C}$.

Из рис. 1 следует, что понижение $T_{\text{о.с.}}$ от оптимальных ($+40\text{--}60^{\circ}\text{C}$) до 0°C приводит к незначительному (26%) уменьшению мощности комплекта (до 65 Вт), но к существенному (70%) снижению светового потока (до 2000 лм) и световой отдачи лампы (до 31 лм/Вт). В работе обсуждаются причины снижения эффективности ЛТТ при низких значениях $T_{\text{о.с.}}$.

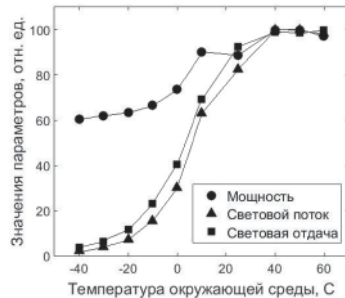


Рис. 1. Зависимости установившихся значений параметров лампы от температуры окружающей среды

Литература

1. **Попов О. А.** Индукционные источники света: Учебное пособие. — М.: Изд-во МЭИ, 2010. — 64 с.
2. Каталог фирмы ITL (<http://www.itl-light.ru/>).

*А. А. Каюмов, Р. Р. Мингазов, студенты;
рук. А. Н. Богданов, к. т. н. (КГЭУ, Казань)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛАЗЕРОМ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ПЕЧАТИ

Лазеры давно нашли устойчивое применение как в системах 2D, так и в 3D-печати. В 2D-печати история применения лазера уходит вглубь XX в. В 1938 г. Честер Карлсон, студент юридического факультета, разработал технологию переноса сухих чернил на бумажный носитель при помощи статического электричества. В 1959 г. был выпущен ксерограф Херох 914, который стал прообразом лазерных принтеров. Первый серийный лазерный принтер вышел в 1977 г.

В 3D-печати можно выделить несколько технологий применения лазера — стереолитография (SLA) и селективное лазерное спекание (SLS). В 1984 г. американец Чарльз Халл впервые продемонстрировал аппарат для трехмерной печати — установка создавала объемные предметы из слоев жидкого фотополимера, которые твердели под воздействием у/ф излучения. В 1988 г. Карл Декарт представил принципиально иной способ трехмерной печати — его аппарат создавал предметы методом послойного спекания. Для нагрева исходных материалов (металлического, пластикового, керамического порошка) и прорисовки контуров деталей использовался лазерный луч. Разнообразие сфер применения лазера обусловлено рядом уникальных свойств лазерного излучения [1].

При этом производителей отечественных систем 2D и 3D печати с использованием лазерных технологий ничтожно мало. На базе Молодежного инновационного центра КГЭУ «Энергия» ведется разработка системы управления лазером. Успешная реализация проекта будет способствовать в дальнейшем развитию отечественных систем печати на основе лазерных технологий.

Рассматриваются варианты управления перемещением самого лазера, фокусной головки (сопла) и луча (посредством оптической системы). Также отдельный интерес вызывает изучение возможности регулирования основных свойств лазерного излучения [2]. Разрабатываемая система предназначена в первую очередь для устройств печати, но может найти свое применение и в современных лазерных граверах.

Литература

1. Менушенков А. П., Неволин В. Н., Петровский В. Н. Физические основы лазерной технологии: Учебное пособие. — М.: НИЯУ МИФИ, 2010. — 212 с.
2. Делоне Н. Б. Взаимодействие лазерного излучения с веществом: Курс лекций. Учебное руководство. — М.: Наука, 1989. — 280 с.

А. А. Копалкин, студент;
рук. В. Е. Шукшин, к. ф. -м. н. (НИУ «МЭИ», Москва)

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛА $\text{Na}_2\text{W}_2\text{O}_7$

В связи с постоянно возникающими задачами фотоники в настоящее время актуальным является поиск новых перспективных оптических материалов.

Настоящее исследование посвящено изучению ряда физических свойств и некоторых характеристик монокристалла дивольфрамата натрия $\text{Na}_2\text{W}_2\text{O}_7$, для которого к текущему моменту разработаны методики синтеза образцов хорошего оптического качества [1].

Одним из наиболее простых информативных методов исследования является колебательная спектроскопия, в частности спектроскопия комбинационного рассеяния (КР) света.

На основании теоретико-группового анализа и с использованием стандартной методики возбуждения и регистрации, проведена идентификация линий в поляризованных спектрах КР.

Достоинство настоящего исследования заключается в использовании монокристаллического образца, в отличие от более ранних работ, в которых были получены спектры от поликристаллов (порошков). См. рис. 1.

Оптическое колебательное представление для $\text{Na}_2\text{W}_2\text{O}_7$:

$$\Gamma^{opt} = (18A_g + 15B_{1g} + 14B_{2g} + 19B_{3g})^{(KPC)} + (19B_{1u} + 18B_{2u} + 13B_{3u})^{(ИК)}. \quad (1)$$

В спектрах КР должно наблюдаться 66 линий, в ИК спектрах — 50.

Идентификация линий проведена для различных геометрий рассеяния (положение анализатора по отношению к плоскости поляризации возбуждающего лазерного излучения).

Планируется проведение экспериментов по ВКР-преобразованию лазерного излучения видимого диапазона с использования кристалла $\text{Na}_2\text{W}_2\text{O}_7$.

Литература

1. Gavrilova T. A., Ivannikova N. V., Shlegel V. N., Grigorieva V. D., Solodovnikov S. F., Bekker T. B., Atuchin V. V. Growth of $\text{Na}_2\text{W}_2\text{O}_7$ single crystals as possible optical host material // Solid State Phenomena. — 2014. — Vol. 213, N 3. — P. 160–164.
2. Wang J., You J. L., Sobol A. A., Lu L. M., Wang M., Wu J., Lv X. M., Wan S. M. In-situ high temperature Raman spectroscopic study on the structural evolution of $\text{Na}_2\text{W}_2\text{O}_7$ from the crystalline to molten states // J. Raman spectroscopy. — 2017. — Vol. 48. — P. 298–304.

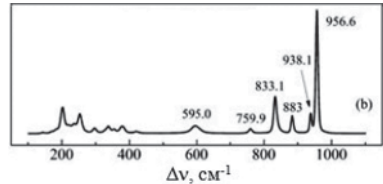


Рис. 1. Неполаризованный спектр поликристаллического образца $\text{Na}_2\text{W}_2\text{O}_7$. Рисунок взят из [2]

*М. А. Масленникова, студ. ;
рук. В. П. Будаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОЩУЩЕНИЯ ДИСКОМФОРТА

Рассматривается новый подход к формированию понятия дискомфортной яркости на основе анализа распределения яркости и свойств зрения человека. Среди качественных характеристик самое видное место занимает показатель дискомфорта, поскольку именно уровень дискомфорта определяет первичное восприятие качества освещения человеком. Оценка со стороны наблюдателя является субъективной и может варьироваться от наблюдателя к наблюдателю в широких пределах.

Цель работы исследования дискомфортных ощущений на осветительной установке из светодиодов и валидация экспериментальной установки на основании результатов эксперимента Лекиша и Гута [1] по определению яркости на границе комфорт-дискомфорт.

Под дискомфортной блескостью принято понимать неприятное ощущение при неравномерном распределении или высоком уровне яркости в поле зрения. Для того чтобы узнать среднее значение дискомфорта, проводят несколько экспериментов. За основу взят эксперимент Лекиша и Гута, в определении ощущения «комфорт–дискомфорт». Была создана установка на основе светодиодов. Опираясь на шкалу Холледея и интерпретировав некоторые ощущения, создали шкалу ощущений.

После серии экспериментов получили значения дискомфортной блескости. По результатам экспериментов было получено значение дискомфортной яркости, отличающееся от значения полученного Лекишем и Гутом. Такая разница получается в связи технических ограничений, из-за которых нельзя полностью воспроизвести условия эксперимента Лекиша и Гута. Анализ всех причин расхождения привел к модификации установки; после ряда экспериментов было видно, что значения дискомфортной яркости смещается в сторону значений Лекиша и Гута.

Дальнейшая задача перейти к большим поверхностям неравномерной яркости, применяя полученную методику.

Литература

1. **Luckiesh M., Guth S. K.** Brightnesses in Visual Field at Borderline between Comfort and Discomfort (BCD) // Illuminating Engineering. — 1949. — Vol. 44. — P. 650–670.

*Д. Е. Никишов, студент;
рук. В. Л. Жбанова, к.т.н., доц. (Филиал «НИУ «МЭИ» в Смоленске)*

КОЛОРИМЕТР НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ XYZ

В работе рассматриваются вопросы, связанные с инструментальной оценкой цвета. Предложен метод объективной оценки цвета, заключающийся в определении цветовых параметров прозрачных и полупрозрачных насыщенных образцов, в том числе алмазов и бриллиантов, по их цифровым изображениям. Измерение цвета актуально в оплотехнике, полиграфии, лакокрасочной промышленности, телевидении и других областях науки и техники.

Колориметр основан на цифровой черно-белой матрицей со сменными фильтрами, спектральные характеристики которых подобраны под стандартную равноконтрастную колориметрическую систему МКО XYZ 1931 г., что позволит решить проблему оценки так называемых насыщенных цветов, выходящих за рамки стандартного треугольника RGB-1931. Для реализации светофильтров достаточно скорректировать спектральную чувствительность фотоприемника под кривые сложения колориметрической системы $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$, и получить набор четырех светофильтров: X1, X2, Y, Z. Подобный набор обусловлен тем фактором, что кривая $x(\lambda)$ имеет два максимума. Поэтому можно использовать два соседних элемента матрицы, из которых приемник X2 корректируется под коротковолновую ветвь кривой (в области $\lambda \leq 505$ нм), приемник X1 — под длинноволновую ветвь ($\lambda \geq 505$ нм) [1]. Этого достаточно, чтобы адекватно, без потерь воспроизводить координаты насыщенных цветов, каких как зеленый, сине-зеленый, синий.

Колориметр оснащен специальным боксом для исследования прозрачных и полупрозрачных образцов в виде небольшого портативного фотометрического шара [2]. Камера регистрирует четыре снимка через каждый из четырех светофильтров. Далее оператор загружает снимки в программу, находит яркостные коэффициенты каждого снимка и далее по формулам определяет цветность исследуемого объекта.

Прорабатывается методика программной обработки снимков в режиме реального времени.

Литература

1. **Жбанова В. Л.** Измерение цветности на основе цифровой камеры // Молодые светотехники России. Сб. тез. докладов науч.-техн. конф. — М.: ВИГМА, 2014. — С. 57–58.
2. **Жбанова В. Л., Парвулюсов Ю. Б.** Принципы построения колориметра для оценки насыщенных цветов // Геодезия и аэрофотосъемка. — 2017. — № 5. — С. 122–126.

*В. А. Рыбина, студ.; рук-ли Г. В. Боос, к.т.н.;
А. А. Григорьев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ КЗС-РЕЦЕПТОРОВ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Разработана методика определения чувствительностей **К**, **З**, **С**-рецепторов зрительной системы, основанная на статистической модели порогового цветового зрения человека, при этом получено выражение:

$$\begin{aligned}
 & C_{\text{кз}} \left(\frac{\bar{\kappa}(\lambda_{\text{об}})}{L_{\text{кз}} + \sum_{i=1}^3 L(\lambda_i) \cdot \bar{\kappa}(\lambda_i)} \right)^2 + C_{\text{зс}} \left(\frac{\bar{z}(\lambda_{\text{об}})}{L_{\text{зс}} + \sum_{i=1}^3 L(\lambda_i) \cdot \bar{z}(\lambda_i)} \right)^2 + \\
 & + \left(\frac{\bar{c}(\lambda_{\text{об}})}{L_{\text{сб}} + \sum_{i=1}^3 L(\lambda_i) \cdot \bar{c}(\lambda_i)} \right)^2 = \frac{C_1}{[L_{\text{ен}}^p(\lambda_{\text{об}})]^2} \quad , \quad (1)
 \end{aligned}$$

где $\bar{\kappa}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$, $\bar{c}(\lambda)$ — функции сложения или удельные координаты цвета в цветовой системе **КЗС**; $L_{\text{ен}}^p(\lambda_{\text{об}})$ — пороговое значение энергетической яркости монохроматического изображения объекта; $\lambda_{\text{об}}$ — длина волны излучения монохроматического объекта; λ_i — длины волн монохроматических излучений фона; $L_{\text{кз}} + \sum_{i=1}^3 L(\lambda_i) \cdot \bar{\kappa}(\lambda_i)$ — составляющие яркости для приемника **К**; аналогично для **З** и **С**; C_1 — постоянные интегрирования.

Число неизвестных в системе уравнений (1) при использовании трех монохроматических излучений — двенадцать, поэтому для нахождения неизвестных коэффициентов, в том числе и значений $\kappa(\lambda)$, $z(\lambda)$, $c(\lambda)$, необходимо не менее 12 уравнений.

Методика проведения эксперимента заключается в обнаружении наблюдателями монохроматических объектов на цветных фонах, спектральные излучения которых образованы из комбинаций монохроматических излучений и излучения белого источника. При использовании трех монохроматических излучений число независимых уравнений системы (1) равно 21, поэтому ее можно решить методом «наименьших квадратов».

*А. А. Скорнякова, М. Д. Ковыркова, С. Ю. Минаева, студенты,
рук. В. П. Будаков д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИННОВАЦИОННЫЙ КУРС ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО СВЕТОДИЗАЙНУ С ЦЕЛЬЮ РАЗВИТИЯ КРЕАТИВНОСТИ

Архитектурное освещение в больших городах и мегаполисах в настоящее время выполняет множество функций, наиболее важными из которых являются привлечение внимания к конкретному учреждению или объекту архитектуры и улучшение световой среды ночного города в целом [1]. Однако на данный момент архитектурное освещение большинства российских городов имеет ряд недостатков. Частыми случаями является пренебрежение к качественным характеристикам оборудования, не учитывается ночная среда местности, в которой расположен объект, нет подчинения общей концепции освещения города или района [2] и т. д.

Для устранения этих проблем нами была разработана новая методика проведения лабораторно-практических работ, базирующаяся на программах DIALux evo и 3D Studio Max. Студентам будет предоставлена возможность на примере модели конкретного здания проанализировать его конструкцию, утилитарное назначение, расположение в городской застройке, ночную среду, существующее освещение и роль светораспределения каждого светильника, а также придумать свою концепцию освещения, реализовать ее в программе, подобрав оборудование. Последняя часть занятия отведена на выступление студента перед аудиторией, где необходимо обосновать выбранную концепцию. В качестве объектов, рассматриваемых в курсе, планируется выбирать известные здания городов России с реально существующим архитектурным освещением. Первыми объектами выбраны Московский цирк на проспекте Вернадского, Гостиница «Украина» (Radisson) и Спасская башня Кремля.

По итогу первых проведенных экспериментальных занятий можно сказать, что студентам понравился новый подход. Учащиеся с увлечением предлагали творческие решения, на этапе обсуждения работ получилась интересная дискуссия с участием всей аудитории. Были выявлены недостатки, касающиеся содержания вводной части занятия, а также материала, выдаваемого студенту. После анализа проведенной работы мы сделали вывод, что результаты являются удовлетворительными, это дает возможность продолжать разработку и совершенствование курса.

Литература

1. **Щепетков Н. И.** Световой дизайн города // Архитектура. — С. 2006.
2. **Щепетков Н. И.** Итоги и перспективы развития светового дизайна в городах России // Светотехника. — 2016. — № 6.

*Н. О. Сопов, студент;
рук. В. П. Будаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

РЕГИСТРАЦИЯ МАЛЫХ ГАЗОВЫХ КОМПОНЕНТОВ В АТМОСФЕРЕ С ПОМОЩЬЮ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Основная задача дистанционного зондирования — сбор информации о концентрации парниковых газов в атмосфере, так как ее увеличение может привести к повышению температуры планеты и глобальному изменению климата. Так, молекулы газа имеют разные линии поглощения в оптическом спектре, анализируя спектральный состав их излучения в атмосфере, как раз получим содержание того или иного газа. Для такого анализа наиболее эффективны системы подходящие для измерения это: спектрометр с интерферометром Фабри–Перо (уже использующийся на спутнике GOSAT) и Акустооптические перестраиваемые фильтры (АОТФ). Проведем анализ двух систем, считая идеальными их условия эксплуатации, плюсами спектрометра с использованием (АОТФ), является возможность измерять пространственные, спектральные и поляризационные характеристики цели в реальном времени без движущей части, что дает преимущественный прирост в точности, но за счет дифракции происходит резонансное флуктуирование выходных характеристик. В случае со спектрометром Ф-П, существенным преимуществом Фурье-спектроскопии перед другими методами разложение в спектр, определяющимися выигрышами Фелжета и Жакино, также отсутствие ограничений в спектральном разрешении за счет размеров оптических элементов. Проблема данной оптической системы, появляются разные погрешности от оптического диапазона. Тем самым для будущего увеличения класса точности зондирования, предлагается возможность совместить два метода, выделяя фиксированный диапазон, и таким образом решить обе проблемы.

Секция 10

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

*Председатель секции — зав. каф. ПЭ, д.т.н., профессор Д.И. Панфилов
Секретарь секции — к.т.н., доцент Д.А. Серегин*

Е. М. Духнич, асп.; рук. П. А. Воронин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

PSpICE-МОДЕЛЬ БАЗОВОГО ЭЛЕМЕНТА МОЩНОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОГО КЛЮЧА

В работе рассматриваются вопросы выбора топологии базового элемента мощного высоковольтного ключа и разработки PSpice-модели, адекватно отражающей происходящие в нем процессы.

Известен мощный составной ключ, представляющий собой каскадное соединение низковольтного силового МОП-транзистора с тиристором с электростатическим управлением (ТЭУ), в цепи затвора которого устанавливается регулирующий элемент, переводящий ТЭУ в режим плавающего потенциала затвора при находящемся в проводящем состоянии силовом МОП-транзисторе [1]. Мощный составной ключ обладает на 20–30% более низкими суммарными потерями по сравнению с современными тиристорами и IGBT, имеющими аналогичные значения максимально допустимых напряжений и плотностей токов.

Однако применение данного мощного составного ключа в высоковольтных схемах ограничено максимально допустимым напряжением ТЭУ, входящим в его состав, и которое на современном уровне технологий не превышает 4,5 кВ. Для более высоковольтных схем предлагается использовать силовые ключи на базовых элементах, состоящих из последовательного соединения мощного составного ключа с еще одним ТЭУ, затвор которого подключен к затвору ТЭУ составного ключа через форсирующий конденсатор. Предлагаемый базовый элемент имеет один вывод управления (затвор силового МОП-транзистора), и три силовых вывода (сток, исток и дополнительный силовой вывод, соответствующий затвору верхнего ТЭУ). При использовании базового элемента в стандартных преобразовательных схемах цепь дополнительного силового вывода подключается к аноду или катоду диода схемы фиксации для ключа нижнего или верхнего уровня соответственно.

Для проверки принципов функционирования базового элемента, была разработана его PSpice-модель, которая учитывает реальные значения крутизны его входной ВАХ, паразитные емкости и сопротивления внутренних структур, пороговые напряжения включения, а также такие конструктивные и технологические параметры, как геометрические размеры канала и толщина оксидного слоя МОП-транзистора, время жизни носителей в базе ТЭУ и пр., оказывающие существенное влияние на статику и динамику переключения базового элемента.

Литература

1. **Воронин П. А., Воронин И. П., Панфилов Д. И., Духнич Е. М.** Оптимизация статических и динамических параметров мощного составного ключа с полевым управлением // Известия Академии Наук. Энергетика. 2016. № 4.

А. Э. Элгибали, аспирант;
рук. Д. И. Панфилов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ НОВЫХ ТОПОЛОГИЙ СТАТИЧЕСКИХ ТИРИСТОРНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ С ОТСУТСТВИЕМ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В РЕГУЛИРУЕМОМ ТОКЕ

Статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности (СТК) являются эффективным инструментом для управления реактивной мощностью в энергосистемах. Традиционные топологии СТК в процессе работы генерируют высшие гармоники, причиной которых является фазовое управление тиристором, установленных в реакторных группах СТК. Замена тиристорно-управляемой реакторной группы (ТУРГ) на тиристорно-переключаемую реакторную группу (ТПРГ) является одним из решений исключения высших гармоник [1]. На рис. 1 показан общий подход к построению новых схем ТПРГ вместо традиционных ТУРГ. Топология схемы на рис. 1 может быть также применена для реализации тиристорно-переключаемых конденсаторных групп (ТПКГ), что позволит обеспечить большую

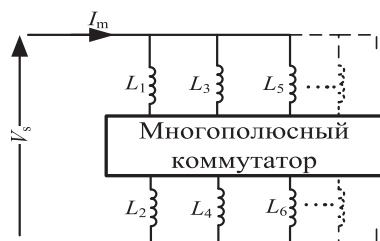


Рис. 1. Схема ТПРГ, с отсутствием высших гармоник в регулируемом токе СТК

гибкость в управлении реактивной мощностью. В силу отличий алгоритмов работы традиционных СТК и новых предлагаемых топологий СТК, их системы управления (СУ) также будут отличаться от традиционных СУ СТК: а) способом управления реактивной проводимостью СТК; б) типом регулировочной характеристики реактивной проводимости СТК; в) структурой СУ СТК. Данная работа посвящена разработке СУ новых топологий СТК на базе ТПРГ и ТУРГ.

Исследование выполнено в АО ЭНИН в рамках прикладного проекта «Разработка

управляемого источника реактивной мощности с отсутствием высших гармоник тока при регулировании электрической энергии и улучшенными технико-экономическими показателями на основе отечественной компонентной базы силовой электроники для автоматического управления напряжением и потоками мощности в распределительных электрических сетях 6–110 кВ (RFMEFI57917X0140)» с финансовой поддержкой Министерства образования и науки Российской Федерации.

Литература

1. **Panfilov D.I. et al.** Design and Optimization of New Thyristors Controlled Reactors with Zero Harmonic Content. 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices June 29 — July 3, 2017.

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

АНАЛИЗ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕРТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ПОЛУМОСТОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ДРАЙВЕРОВ И МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

В настоящее время существует множество различных способов управления трехфазными инверторами напряжения. Однако, при использовании современных IGBT-транзисторов на кремневой основе, работающих в диапазоне 10–20 кГц, коммутационные потери в полупроводниковых элементах занимают значительное место относительно общей мощности потерь. Следовательно, коммутационную мощность потерь в силовых полупроводниковых ключах необходимо снижать.

В связи с этим были разработаны различные разновидности широтно-импульсной модуляции (ШИМ), применение которых позволяет снизить коммутационную мощность потерь, повысить коэффициент полезного действия (КПД) и уменьшить затраты на охлаждение по сравнению с классической ШИМ. Одним из таких видов ШИМ является ШИМ с пассивной фазой.

Тем не менее развитие новых способов формирования управляющих сигналов, позволяющих снизить мощность динамических потерь и повысить общий КПД в преобразователях электроэнергии, не учитывает влияния реальных особенностей работы микросхем драйверов и микропроцессорных систем. Кроме того, крайне важным является тот факт, что для развития современной отечественной преобразовательной техники необходимо исследовать такого рода проблемы, используя уже существующие отечественные компоненты, которые могут заметно влиять на формирование сигналов управления.

Помимо выше изложенных проблем, так же стоит отметить, что развитие полупроводниковых элементов сделало крупный шаг вперед с появлением новейших MOSFET-транзисторов на основе карбида кремния, применение которых так же позволит сильно снизить коммутационную мощность потерь в преобразователях, по сравнению с кремневыми IGBT.

Соответственно, применение новейших полупроводниковых элементов и выявление наиболее энергоэффективного способа формирования сигнала на основе отечественных драйверов и микропроцессорных систем, с учетом реальных особенностей их работы, может повлиять на развитие новых отечественных систем управления преобразователями электрической энергии, а также позволит создавать инверторы напряжения с более высоким КПД, используя отечественную элементную базу.

И. Н. Горшенков, маг., Н. В. Торгачев, маг.;
рук. С. П. Астахов, к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА МОЩНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИСТОЧНИКА УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОКРОВОВ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

На сегодняшний день из-за масштабного развития промышленности все изменения и процессы в мировой флоре имеют преимущественно деградиационный характер, следовательно, оценка состояния растительных покровов является актуальной задачей государственного масштаба. Так как множество сельскохозяйственных растительных культур и почв реагируют на ультрафиолетовое (УФ) излучение, поглощая либо отражая его, то использование УФ-излучения позволяет проводить подобные исследования и в условиях недостаточной освещенности (ночью). Таким образом, для проведения круглосуточного исследования необходима разработка мощного искусственного источника ультрафиолетового излучения.

В состав предлагаемого искусственного источника излучения УФ-диапазона большой мощности входят твердотельные излучатели, устройство повышения и стабилизации напряжения на базе контроллера (микросхемы) с регулируемым выходным напряжением и током, устройство контроля температуры кристаллов твердотельных излучателей.

Твердотельные излучатели подвержены деградации от длительной работы, поэтому им требуются элементы охлаждения для уменьшения влияния деградиационного воздействия. Для контроля температуры используется цифровой датчик, данные с которого обрабатываются микроконтроллером, который, в свою очередь, управляет активной системой охлаждения.

Благодаря разработке искусственного источника ультрафиолетового излучения возможен анализ исследуемой природной территории круглосуточно, в отличие от методов на основе популяционного сейчас вегетационного индекса $NDVI$ [1].

Литература

1. **Вегетационный индекс $NDVI$** [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://ndvi.com.ua/>

*В. А. Иванов, студент; рук. С. П. Астахов, к.т.н., доц.;
(филиал ФГБОУ «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АЭРОФОТОСЪЕМКА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

В последнее время для аэрофотосъемки земной поверхности все чаще применяются беспилотные воздушные суда (БВС), полезной нагрузкой которых является оптико-электронная аппаратура различного назначения. В условиях недостаточной видимости (ночью) обычно используется оптико-электронная аппаратура длинноволнового инфракрасного диапазона (тепловизоры), позволяющая получать только монохромные или псевдоцветовые изображения объектов, что не всегда является удобным при их анализе.

Актуальным направлением аэрофотосъемки земной поверхности в ночное время является применение БВС, на борту которых вместе с фотокамерой устанавливается фотовспышка, что позволяет получать изображения объектов в естественной цветовой гамме [1].

Вместе с тем, существующие противоречия: ограничение по массе и габаритам полезной нагрузки (фотокамеры и фотовспышки) БВС; величина энергопотребления фотовспышки, обратная квадрату высоты полета БВС, делают это направление аэрофотосъемки трудно реализуемым.

Для реализации направления аэрофотосъемки земной поверхности в ночное время с применением фотовспышки были проведены:

- энергетический расчет фотовспышки, обеспечивающей получения снимков с высот полета БВС 200–300 м;
- выбор источника излучения, отвечающего требованиям результатов энергетического расчета,
- разработка системы управления источником излучения.

Макет фотовспышки был установлен на борт БВС: с его помощью были получены изображения земной поверхности удовлетворительного качества с высот 200–250 м.

Литература

1. **Зинченко О. Н.** Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования; www.racurs.ru/www_download/articles/UAV_1.pdf.

*И. И. Журавлев, студент;
рук. Д. А. Серегин, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ, Москва)*

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ



Рис. 1. Диаграмма Рагона для устройств генерации и накопления энергии

На сегодняшний день существует широкая потребность в автономных источниках энергии, позволяющих выдавать высокую мощность для штатной работы мощных электрических устройств (ИБП). Суперконденсатор (СК) обладает высокой удельной мощностью [1] (рис. 1). Данное свойство позволяет использовать СК в качестве источника энергии для питания нагрузки, как правило, в течение небольшого времени (от десятков минут до нескольких часов).

Из рис. 1 также видно, что суперконденсаторы имеют на порядок большую удельную мощность, чем аккумуляторы, причем у СК мощности, передаваемые во время заряда и разряда, практически одинаковы.

Это отличает СК от аккумуляторной батареи, у которой мощности, передаваемые в процессе заряда и разряда, могут сильно отличаться. Вследствие чего СК может эффективно заряжаться и разряжаться с помощью одного реверсивного преобразователя, что открывает широкие возможности по улучшению характеристик системы электропитания.

В данной работе были исследованы схмотехнические решения реверсивных преобразовательных устройств для систем с СК. Рассмотрены варианты последовательного, параллельного включения суперконденсаторов, а также проведен их анализ с точки зрения эффективности использования. Исследованы характеристики скорости заряда и разряда.

Литература

1. Шурыгина В. Суперконденсаторы. Размеры меньше, мощность выше. — 2009.

*А. Т. Мозес, А. О. С. Акинола, студенты;
рук. Л. В. Ахметвалеева, к.п.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОГО ПРОСТЕЙШЕГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА

В настоящее время радиолокационные системы (РЛС) характеризуются широтой и многообразием применения.

Простейшая РЛС состоит из передатчика, передающей антенны, приемной антенны, приемника, преобразующего сигналы и выходного устройства, обнаруживающего отраженные сигналы. Отраженный эхо-сигнал принимается радиолокационной антенной и обрабатывается приемником для определения географической статистики объекта, расстояние определяется путем вычисления времени, которое должен пройти сигнал от РЛС до цели и обратно. Расположение цели измеряется под углом, от направления сигнала максимальной амплитуды эхо-сигнала, на которое указывает антенна. Для определения местоположения движущихся объектов могут применяться различные методы, в нашей работе использован метод Moving Target Indication (MTI).

Проектирование предлагаемой разработки проводилось в Arduino UNO на базе микроконтроллера ATmega328, также в состав устройства входит микро сервопривод и ультразвуковой датчик HC-SR04, который испускает ультразвук с частотой 40 000 Гц. Ультразвуковой датчик монтируется на сервоприводе, и он действует как передатчик, приемник и антенна системы. HC-SR04 посылает звуковые волны с передатчика и принимает отраженный луч от препятствия в приемник. Серво вращается под определенным углом для обнаружения препятствия в пределах его диапазона. Расчет положения и местоположения препятствия осуществляется на основе параметров, полученных от HC-SR04 и сервопривода. Результат отображается на ЖК-дисплее и также проецируется на экран компьютера через программу Processing IDE.

Разработанное устройство может быть применимо в робототехнике, автономных транспортных средствах для обнаружения местоположения и положения препятствий, а также в учебных целях при изучении вопросов проектирования микропроцессорных устройств.

Литература

1. **Charvat G. L.** Small and Short-Range Radar Systems, CRC Press, 2014.
2. <http://howtomechanics.com/projects/arduino-radar-project>.

*Ю. А. Орлова, студентка; рук. С. П. Астахов, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ «НИУ «МЭИ» в Смоленске)*

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ НЕЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ УЧАСТКОВ АВТОДОРОГ

На сегодняшний день проблема энергосбережения очень актуальна. Одним из популярных путей ее решения является использование альтернативных возобновляемых источников энергии, таких как: солнечная энергия, энергия перемещения воздушных масс и энергия перемещения водных потоков.

Использование энергии ветра часто оказывается наиболее эффективным во многих климатических зонах, которые не отличаются большим количеством солнечных дней в году. Кроме того, ветра могут быть вызваны не только естественными, но и антропогенными факторами. Перемещения воздушных масс, которые вызваны антропогенными факторами, в ряде случаев могут быть более предпочтительны для использования в качестве возобновляемого источника энергии, поскольку могут быть более предсказуемы. Для использования энергии перемещения воздушных масс, вызванного таким антропогенным фактором, как движение автотранспорта, можно использовать устройство, состоящее из нескольких маломощных ветрогенераторов, заряжающих один аккумулятор.

Контроллер заряда аккумулятора представляет собой электронное устройство, управляющее процессом заряда аккумулятора и обеспечивающее требуемые значения тока заряда или напряжения заряда аккумулятора. Обеспечение оптимального режима заряда аккумуляторной батареи имеет большое значение в продлении срока службы и сохранении качества аккумуляторной батареи в процессе эксплуатации. При заряде аккумулятора от нескольких источников контроллер так же должен обеспечивать суммирование энергий, поступающих от данных источников.

Устройство, преобразующее энергию перемещения воздушных масс, вызванного таким антропогенным фактором, как движение автотранспорта, позволит решить проблему электрификации тех участков автодорог, которые нецелесообразно электрифицировать путем проведения линий электропередач.

Литература

1. Пат. 2153752 Российская Федерация, МПК7 Н 02 J3/28, Н 02 J 3/32. Способ бесперебойного электроснабжения потребителей электроэнергетической системы, работающей на возобновляемых источниках энергии / Аккуратов А. В., Кузнецов С. Н., Гликин В. Б., Шилин В. Л. заявители; Аккуратов А. В., Кузнецов С. Н. патентообладатели — № 2153752; заявл. 07.05.1999; опубл. 27.07.2000.

*М. И. Петров, асп.; рук-ли П. А. Рашитов, к.т.н., доц.;
Д. И. Панфилов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 0.4–35 кВ

Электрические сети являются основным инструментом передачи и распределения электроэнергии. В их составе можно выделить распределительные сети, представляющие собой сети низкого и среднего напряжения (0.4–35 кВ). Основной задачей данных сетей является распределение электроэнергии от крупных системных подстанций до потребителей на определенной территории.

Известно, что распределительные линии электропередачи (ЛЭП) можно представить в виде схемы замещения, представляющей собой последовательное соединение активного и индуктивного сопротивлений [1]. Величина активного сопротивления ЛЭП зависит от ряда параметров, таких как температура, толщина, длина и материал используемого провода. Величину реактивного сопротивления ЛЭП можно рассчитать, зная расстояние между проводами трехфазной системы и толщину провода. Очевидно, что при протекании электрического тока по ЛЭП на данных сопротивлениях наводится напряжение, что сказывается на качестве электроэнергии, поступающей к потребителям, и КПД распределительной сети.

Проведение активной энергосберегающей политики ставит в качестве одной из важнейших задачу снижения потери электроэнергии на ее транспорт, повышение пропускной способности существующих сетей. Решение данных задач может быть достигнуто за счет использования устройств преобразовательной техники и силовой электроники. В качестве таких устройств могут выступать компенсаторы реактивной мощности и регуляторы переменного напряжения, выполненные на вольтодобавочном трансформаторе. Исследована эффективность применения устройств данных видов в зависимости от внешних условий и были определены требования для введения их в эксплуатацию.

Исследование выполнено в рамках прикладного проекта «Разработка и экспериментальная апробация технических решений по созданию автономных полупроводниковых управляющих устройств продольной компенсации для повышения надежности воздушных линий электропередачи (RFMEFI57417X0140)» с финансовой поддержкой Министерства образования и науки Российской Федерации.

Литература

1. **Костин В. Н., Распопов Е. В., Родченко Е. А.** Передача и распределение электроэнергии: Учеб. пособие. — СПб.: СЗТУ, 2003 — 147 с.

*А. Н. Рожков, аспирант;
рук. Д. И. Панфилов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ФАЗОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА НА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Проводимые в рамках работы исследования направлены на экспериментальное подтверждение работоспособности разработанной автором адаптивной СУ ФПУ [1] на специально разработанной и реализованной физической модели линии электропередачи (ЛЭП) класса напряжения 10 кВ [1] в условиях работы, максимально приближенных к реальным. Экспериментально проверенные решения по разработке и реализации адаптивного управления ФПУ создадут основу для практического применения ФПУ в активно-адаптивных электрических сетях.

Экспериментальные исследования проводятся согласно предложенной методике проведения экспериментальных исследований, описанной в работе, и позволившей провести комплексное исследование работы ФПУ и его СУ в составе ЛЭП, в том числе и исследование адаптации управления ФПУ к изменяющимся параметрам режима ЛЭП. Проведенные исследования экспериментально подтвердили: возможность актуализации параметров моделей ФПУ и ЛЭП на основе экспериментальных данных о токах и напряжениях на входах и выходах ФПУ в месте его установки; возможность применения моделей ФПУ и ЛЭП для расчета в СУ режимов работы ЛЭП с установленным в ней ФПУ; адекватность идентификации и вычисления изменения параметров режима ЛЭП на основе измеренных значений токов и напряжений на входах и выходах ФПУ; реализуемость и работоспособность всех основных этапов разработанного алгоритма адаптации и основных функциональных блоков СУ ФПУ.

Исследование выполнено в ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в рамках прикладного проекта «Разработка и экспериментальная апробация технических решений по созданию автономных полупроводниковых управляющих устройств продольной компенсации для повышения надежности воздушных линий электропередачи (RFMEFI57417X0140)» с финансовой поддержкой Министерства образования и науки Российской Федерации.

Литература

1. **Panfilov D. I., Rozhkov A. N., Astashev M. G.** Research of Controlled Phase Shifter operation on a Physical Model of the Transmission Line. IEEE 17 International Conference on Environment and Electrical Engineering. Conference Proceeding, 6–9 June 2017, Milan, Italy. P. 2107–2112.

*А. А. Шнеур, студент; рук. А. А. Пеньков, к.т.н., доц;
(Филиал ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» в Смоленске)*

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ДВИЖЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Необходимость в разработке данного устройства обусловлена его универсальностью для отслеживания стадии изготовления изделий и контроля движения технологических процессов, создаваемых на производствах различного профиля в области электроники [1].

Целью данной разработки является отслеживание деталей в производстве (Например, платы или кабеля). С помощью пироэлектрического датчика сенсоры позволяют улавливать перемещение различных объектов. Данный датчик имеет универсальное применение для деталей с размером, не превышающим 10×100 см. Датчики нужны для того, чтобы контролировать перемещения деталей на предприятии и стадии изготовления данных деталей. Рассматриваемые датчики (рис. 1) небольшие по габаритам, недорогие, потребляют небольшое количество энергии, легки в эксплуатации, практически не подвержены износу.

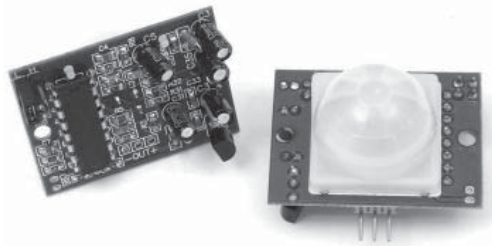


Рис. 1. Пироэлектрический датчик движения

Чувствительный пироэлектрический элемент улавливает уровень инфракрасного излучения, который напрямую зависит от температуры. Датчик фактически разделен на две части. Это обусловлено тем, что мы наблюдаем не уровень излучения, а непосредственное движение в пределах зоны чувствительности датчика [2].

Литература

1. **Хоровиц П., Хилл У.** Искусство схемотехники: справочное руководство / Пер. с англ. — М.: Мир, Бином, 2011. — 704 с.: ил.
2. **Котюк А. Ф.** Датчики в современных измерениях. — М.: Радио и связь, Горячая линия — Телеком, 2006. — 96 с.

*А. В. Теплов, магистрант;
рук. Е. В. Найденов асс. (СФ МЭИ, Смоленск)*

РАЗРАБОТКА ДРАЙВЕРА ПИТАНИЯ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ФИЛАМЕНТНЫХ ЛАМП

Филаментные лампы обладают рядом преимуществ по сравнению с классическими чип-светодиодами. Нитевидный светодиод состоит из множества бескорпусных светодиодов. Это позволяет увеличить напряжение питания светодиода, что позволяет использовать драйвер с большей эффективностью. Материалом подложки, как правило, является стекло или сапфир, благодаря чему свет, в отличие от обычных светодиодных ламп, распространяется практически равномерно [1].

Разрабатываемый драйвер питания представляет собой понижающий импульсный преобразователь, питаемый непосредственно от сети через бестрансформаторный выпрямитель с С-фильтром (рис. 1).

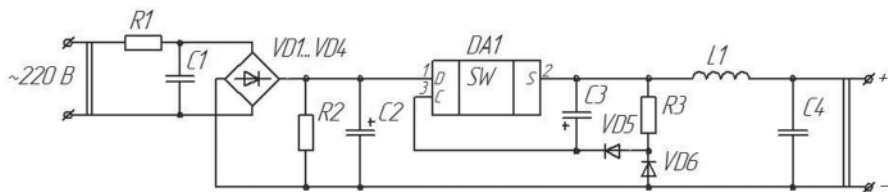


Рис. 1. Принципиальная схема разработанного драйвера

Для подавления изменения яркости, вызванного нагревом филамента, целесообразно использовать преобразователь с обратной связью по току. Это позволило отказаться от дросселя с обмоткой обратной связи по напряжению, и применить серийно выпускаемый дроссель для поверхностного монтажа.

Вместо традиционно применяемых узкоспециализированных контроллеров питания, была использована микросхема общего назначения ILP223 производства минского завода полупроводниковых приборов «Интеграл». Данная микросхема представляет собой ШИМ-контроллер импульсного преобразователя со встроенным мощным МДП-транзистором [2].

Недостатком выбранного решения является то, что датчик тока находится под высокочастотным потенциалом, что усложняет настройку и диагностику устройства.

Драйвер стабильно работает в диапазоне питающих напряжений от 150 до 250 В, причем при напряжении свыше 220 В наблюдается отрицательное дифференциальное сопротивление, мощность снижается на 5%. Максимальный рабочий ток составляет 70 мА, в то время как пульсации напряжения на нагрузке не превышают 5%.

Литература

1. Pfeifer R. P. Comparison Between Filament Lamps and Compact Fluorescent Lamp. The International Journal of Life Cycle Assessment 1996.
2. Доброзраков И. Е. Некоторые вопросы разработки и изготовления филаментных ламп. М: Лисма — 2015.

*Е. А. Вершанский, аспирант;
рук. П. А. Рашитов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ДИСКРЕТНЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ УСТРОЙСТВ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

В настоящее время существует ряд распределенных устройств продольной компенсации, которые устанавливаются последовательно в линию электропередачи и способны воздействовать на реактивное сопротивление линии. Примером таких устройств является распределенное устройство продольной компенсации, представляющее параллельное соединение индуктивности намагничивания трансформатора и дискретно изменяемой величины эквивалентной емкости (рис. 1).

Вводимое дискретное значение эквивалентного реактивного сопротивления допустимо до величины тока линии, не приводящей к насыщению трансформатора.

При вводе эквивалентного емкостного сопротивления ток вторичной обмотки трансформатора оказывается больше приведенного тока линии, что приводит к увеличению потерь в устройстве и снижению КПД [1]. Значение допустимого КПД ограничивают максимально возможное дискретное эквивалентное реактивное сопротивление. В результате возникает задача поиска рационального решения дискретных вводимых величин реактивного сопротивления с учетом допустимого значения КПД.

Исследование выполнено в рамках прикладного проекта «Разработка и экспериментальная апробация технических решений по созданию автономных полупроводниковых управляющих устройств продольной компенсации для повышения надежности воздушных линий электропередачи (RFMEFI57417X0140)» с финансовой поддержкой Министерства образования и науки Российской Федерации.

Литература

1. **Panfilov D. I., Rashitov P. A., Petrov M. I.** Analysis of element's parameters influence on characteristics of distributed compacts series compensators/Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). — 2017 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices.

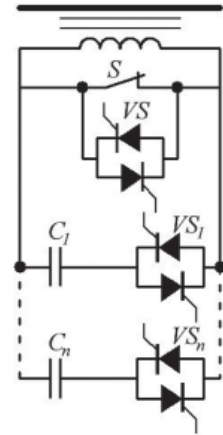


Рис. 1. Дискретный индуктивно-емкостной МУПК

*Е. А. Власьевнина, студент;
рук. О. И. Осипов, д. т. н., профессор (НИУ «МЭИ», Москва)*

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ДЛЯ СТЕНДА ИСПЫТАНИЙ ТРАКТОРНЫХ ШИН

Для испытаний тракторных шин и их износа используются специальные лабораторные стенды с имитацией реальных условий эксплуатации шин [1]. Они позволяют оценить их надежность и выявить возможность увеличения срока эксплуатации шин. Наиболее распространенные стенды включают в себя неподвижную платформу, беговой барабан, гидроцилиндры, рекуператор, устройства прижима, электропривод барабана, механизмы вращения шин, персональный компьютер. Регулируемый электропривод барабана, как правило, реализуется на основе машин постоянного тока с управляемым тиристорным преобразователем. Кроме известных недостатков подобных приводов они имеют и высокое потребление электроэнергии, обусловленное потерями на преодоление усилий в механизмах вращения шин.

Особенностью предлагаемого стенда является не только замена привода барабана на асинхронный частотно-регулируемый, но и за счет двух асинхронных (также частотно-регулируемых) приводов механизмов вращения шин с возможностью рекуперации их энергии в общую сеть питания обеспечить суммарное потребление энергии, затрачиваемое лишь на преодоление потерь в электроприводе и механизмах стенда. За счет приводов механизмов вращения двух шин одновременно увеличивается и производительность испытаний стенда.

Проведен анализ технических возможностей асинхронных частотно-регулируемых электроприводов барабана и механизмов вращения шин. Определены мощности элементов их силовой части, построены энергетические диаграммы потоков и потерь мощностей в приводах, а также предложены структуры их управления [2].

Литература

1. **Гребнев В. П.** Тракторы и автомобили. Теория и эксплуатационные свойства: учебное пособие / В. П. Гребнев, О. И. Поливаев, А. В. Ворохобин; под общ. ред. О. И. Поливаева. — 2-е изд., стер. — М.: КНОРУС, 2016. — 260 с.
2. **Анучин А. С.** Системы управления электроприводов: учебник для вузов, — М.: «Издательский дом «МЭИ», 2015. — 373 с.

С. Д. Яшагин, Р. Р. Шамсиев, студенты; рук-ли. Т. К. Филимонова, к. ф.-м. н., ст. науч. сотр.; А. Н. Богданов, к.т.н. (КГЭУ, Казань)

МОДЕРНИЗАЦИЯ ДОМОФОННОЙ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ RFID-ТЕХНОЛОГИЙ

Большинство домов РФ оснащено домофонами. Домофонные системы ограничивают проникновения нежелательных лиц в подъезд. Несмотря на развитие современных цифровых технологий, наиболее распространенные в РФ домофонные системы имеют явный недостаток: брелок необходимо вплотную прикладывать к месту считывания.

Использование в домофонных системах бесконтактного считывания карт на основе технологии RFID позволят, при наличии карты доступа, открывать дверь подъезда без физического контакта с домофонным считывателем. Дверь уже будет открыта, когда подойдете к ней на расстоянии ближе 2 метров, при этом не важно, где находится карта, лежит она в кармане брюк или же глубоко в сумке. Данное решение будет способствовать повышению комфорта населения, особенно пожилых людей и лиц с ограниченными возможностями здоровья.

В результате реализации данного проекта будет разработан модуль, подходящая к большинству наиболее распространенных домофонов. Данный модуль будет интегрироваться в саму домофонную систему. Таким образом, в типовую домофонную систему не будет внесено каких-либо критических изменений и доработок.

На данный момент разработан тестовый образец модуля, В случае успешной апробации и получения положительных отзывов, данное решение можно будет тиражировать на другие многоквартирные дома Казани и, в перспективе, на территории всей РФ. Низкая себестоимость и удобный монтаж будут способствовать распространению разработанного решения. Данный проект реализуется при поддержке научных консультантов из ФГБОУ ВО «КГЭУ» и специалистов с ООО «Тат-СвязьСервис» и ООО «ВВМ-ПРИНТ». Реализация данного проекта способствует большему внедрению современных цифровых технологий в наш быт и жилищно-коммунальное хозяйство.

Литература

1. **Генов К. М.** Учебный модуль по теме «Применение технологии RFID в складской логистике». — ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет».
2. **Бхуптани М., Морадпур Ш.** RFID технологии на службе вашего бизнеса. — Sun Microsystems, Inc., 2005.
3. **Лахири С.** RFID. Руководство по внедрению — IBM, 2007.

И. А. Болобин, В. И. Антоненков студ.;
рук. С. А. Амелин, к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в Смоленске)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ТЕСТЕРА ТРАНЗИСТОРОВ

На современном рынке существует множество поддельных транзисторов, у которых, при одной маркировке, в корпусе установлен кристалл от совершенно другого транзистора. А определить подлинность транзистора можно с помощью такого параметра, как пробивное напряжение.

Для определения пробивного напряжения транзистора необходим источник тока с напряжением около 600 В и током до 0,25 мА [1]. Данный источник будет входить в состав устройства измерения параметров транзистора, напряжение питания которого составляет 9 В. И чтобы получить необходимые 600 В, будет использован повышающий регулятор второго типа, работающий в режиме прерывистых токов.

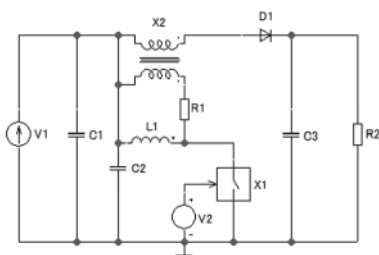


Рис. 1. Регулятор второго типа

Исследование заключается в расчете и моделировании работы регулятора второго тип. Для моделирования использовалась программа Micro-Cap 10 [3]. Расчет дросселя регулятора проведен в соответствии с [2]. Далее планируется провести исследование данного регулятора на реальных компонентах.

Пример регулятора второго типа представлен на рис. 1.

Литература

1. AN-975В. Измерение характеристик МОП-транзистора // International Rectifier
2. Макашов Д. Обратноходовой преобразователь. <http://www.bludger.narod.ru/smps/Flyback-R01.pdf>
3. Амелина М. А., Амелин С. А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9,10. СПб.: Лань, 2014.

Секция 11

ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Председатель секции — д.т.н., профессор А.М. Гуляев
Секретарь секции — к.т.н., доцент И.Б. Варлашов

В. И. Антоненков, И. А. Болобин, студ.;
рук. А. А. Пеньков, к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в Смоленске)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ БТИЗ

При работе с БТИЗ достаточно часто возникает необходимость в измерении основных параметров данных полупроводниковых приборов.

В рамках этой необходимости, разработчики сталкиваются с устаревшими отечественными ГОСТами по измерению параметров БТИЗ. Методы измерений, описанные в ГОСТах, не позволяют достичь оптимальных результатов исследования [2].

Решением данной проблемы являются методы измерения параметров БТИЗ, разработанные компанией Infineon Technologies — крупным производителем микросхем для телекоммуникаций.

В качестве примера, рассмотрим один из основных параметров БТИЗ, которым является пороговое напряжение на затворе транзистора ($V_{GE(th)}$) — параметр, характеризующий напряжение на затворе, при котором появляется ток коллектора [1].

Воспользовавшись средой моделирования Micro-Cap 10: выбрав модель исследуемого транзистора (IRGP50B60PD1) и собрав тестовую схему для измерения величины порогового напряжения на затворе транзистора, предлагаемую компанией IT, получим результат измерения (рис. 1).

Как показано на рис. 1 результат измерения совпадает со значением параметра, указанного в технической документации на исследуемую модель БТИЗ (IRGP50B60PD1), $V_{GE(th)} = 5,15 \text{ В}$.

Таким образом, используя методы измерения и модели тестовых схем компании IT, можно измерять основные параметры БТИЗ.

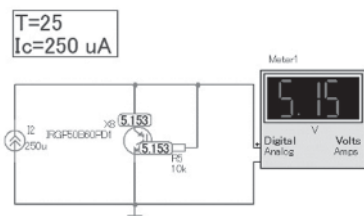


Рис. 1. Тестовая схема измерения порогового напряжения на затворе БТИЗ, предложенная компанией IT

Литература

1. Блейк К., Булл К. IGBT или MOSFET: выбирайте с умом // Силовая электроника. 2015. № 5.
2. ГОСТ 20398.7-74. Транзисторы полевые.

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

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ С ТИТАНОМ И ВАНАДИЕМ

Известно, что имеется возможность введения в алмазоподобные кремний-углеродные пленки различные металлы содержанием, по крайней мере, до 35 ат. %, что позволяет менять электропроводность на 9 порядков величины от $1 \cdot 10^{-6}$ до $2 \cdot 10^3 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. Структура пленок представляет собой наноккомпозит, в котором проводящие наночастицы металла или его карбида размером несколько нанометров распределены в аморфной диэлектрической матрице [1, 2].

Пленки получают на кафедре Электроники и наноэлектроники НИУ «МЭИ» методом одновременного плазмохимического разложения кремнийорганического вещества и магнетронного распыления металла.

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния введения титана и ванадия на удельную электропроводность материала. При этом в качестве прекурсоров, образующих диэлектрическую матрицу, использовались полифенилметилсилоксан и полиметилсилоксан. Рассмотрены концентрационные и температурные зависимости электропроводности образцов. Показано, что с увеличением концентрации введенного металла, происходит переход от полупроводникового (активационного) типа проводимости к металлическому. Объяснены различия в поведении концентрационных зависимостей электропроводности пленок с разными металлами и прекурсорами.

Авторы благодарят Шупегина М. Л. за предоставление образцов для исследования.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-07-00147).

Литература

1. **Баринов А. Д.** Зависимость свойств металлосодержащих кремний-углеродных наноккомпозитов от концентрации нанофазы / А. Д. Баринов, А. И. Попов, М. Ю. Пресняков // Неорганические материалы. — 2017. — Т. 53. — № 7. — С. 706–711
2. **Роров А. I.** Modification of properties of silicon-carbon nanocomposites / A. I. Popov, A. D. Barinov, M. Y. Presniakov // Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics. — 2014. — V. 9. — N. 6. — P. 787–791

*He Kai, Su Lin students (North China Electric Power University);
adviser E. N. Voronkov, Dr. of Sci., Prof. (NRU MPEI, Moscow)*

DEVELOPMENT OF SOLAR ENERGY IN CHINA

The started global technological revolution is proceeding according to the economic, political and national characteristics of a particular countries [1–2]. This work is analyzing technological factors that have a decisive influence on the new economic cycle formation, and the possible its evolution. The work is analyzing those technological factors that have decisive influencing on the formation of a new economic cycle, and a possible prediction their evolution on subsequent stages. For the date of a new technological cycle start 2010 is accepted, By this year, traditional planar technology, which allowed to reduce the sizes of microelectronic circuits, as their output increased, achieved the physical limit and ceased the efficiency. This stimulated the development of new directions related to the application of the created technology in new production and transport areas, including the field of power engineering. By 2010, traditional planar technology, that ensure reducing the sizes of microelectronic circuits, as their output increasing, has achieved the physical limits. So the efficiency of new investments has reduced. This stimulated the development of new directions related to the application of traditional electronic technology in new consumer products, transport, and communications and in the field of the modern production of energy by non-traditional methods. In these conditions, one of the key technological factors of the new cycle, according to the authors, should be the non-traditional electricity generation, and in particular generation by converting of solar energy [3]. China is focused on working in this direction. In particular, by 2020 the total capacity of renewable sources should be more than 210 GW. The installed capacity of wind and solar power stations is more than 110 GW. The calculated estimates in the work show that even when these values are reached, the planned role of non-traditional energy sources as the main drivers of the new economy can become real only if a number of conditions are fulfilled, the creation of which is at the initial stage. These conditions include: transformation, accumulation and transfer of solar energy, increasing the efficiency of energy generation, a significant reduction in the cost of energy.

References

1. **Renewable Energy in China Transiting to a Low-Carbon Economics** // DBS Asian Insights, № 31, 2016.
2. **Peter Meisen**. Renewable Energy Potential of China: Making the Transition from Coal-Fired Generation // Global Energy Network Institute, 2008.
3. **Voronkov E.N.** Solar energy can become one of the key factors in the formation of a new technological cycle // Industrial power engineering. 2017. № 4, p. 48–53.

*А. А. Казаков, студент; рук-ли А. И. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»);
Л. Н. Овешников, к. ф.-м. н. (ФИАН, Москва)*

МАГНИТНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ЭЛЕКТРОНИКЕ И ЭНЕРГЕТИКЕ

Магнитные нанокompозиты — искусственно созданные наноструктурированные среды, представляющие собой ансамбль магнитных включений, помещаемых в матрицы различных материалов. Свойства композитных систем зависят как от свойств материалов включений и матрицы, так и от ряда эффектов, определяемых условиями роста конкретных образцов и особенностями физико-химического взаимодействия компонент системы.

Физические свойства магнитных включений могут заметно отличаться от свойств объемного материала. Одной из причин такого различия является размерный фактор. В частности, при уменьшении размеров включений увеличивается отношение их удельной поверхности к удельному объему, то есть, становятся существенными поверхностные эффекты. Изучение таких эффектов, а также эффекты размерного квантования энергетического спектра, обуславливают значительный интерес к исследованию нанокompозитов. Меняя материал матрицы можно эффективно влиять на макроскопические свойства композита, например, на упругие или проводящие свойства. В зависимости от выбора материалов, можно обозначить несколько основных типов композитных систем: полимерные, металл-органические, полупроводниковые, металлические.

Взаимодействие включений и матрицы, особенно на стадии роста композита, может существенно повлиять на его структуру. Например, при совместном испарении частиц металла и мономера на единую подложку, формируемые металлические включения влияют на полимеризацию мономера, а от структуры получившейся полимерной матрицы зависит пространственное распределение включений [1].

Интерес к исследованию магнитных композитов обусловлен перспективой их применения в областях наноэлектроники, энергетики и спинтроники. В докладе проведен анализ основных свойств магнитных композитных систем и представлены некоторые яркие результаты включая: гигантское магнетосопротивление, спиновая поляризация носителей заряда, аномальный эффект холла, эффект обменного смещения и другие.

Литература

1. **Май Ю-В.** Полимерные нанокompозиты. М.: Техносфера, 2011.

Д. П. Лелюк¹, А. Д. Мишин¹, соискатели;
 рук. С. С. Маклаков, к. ф.-м. н., с. н. с., А. М. Макаревич², к. х. н., н. с.
 (¹ ИТПЭ РАН, Москва; ² МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В ПЛЕНКАХ VO₂ В СВЧ-ДИАПАЗОНЕ

Диоксид ванадия при температуре 68°C проявляет резкий переход металл-полупроводник, сопровождающийся изменением проводимости до 105 раз и оптической прозрачности, в том числе в ИК и ТГц диапазонах [1, 2], что открывает перспективы его использования в оптике и микроэлектронике (элементы памяти, устройства автоматического контроля, терморезисторы и др.). Металлические ленты с буферными слоями могут заменить монокристаллические подложки, так как они позволяют получать высококачественные эпитаксиальные пленки в текстурированном виде, выдерживают несколько циклов переключения, обладают гибкостью и низкой стоимостью. В качестве металлических лент с буферными слоями могут быть использованы архитектуры, широко известные в технологии получения ВТСП-проводов второго поколения и содержащие оксидные слои, близкие по кристаллографическим параметрам к VO₂ (MgO, Y₂O₃, YSZ).

Целью данной работы было исследование фазового перехода в эпитаксиальных пленках VO₂, в том числе в частотном диапазоне 6–20 ГГц. В полученных методом МOCVD [3] образцах VO₂/буферные слои/металлическая подложка изменение сопротивления при фазовом переходе в VO₂ составило 3–4 порядка, что сопоставимо с результатами для пленок VO₂ на монокристаллах. Изучена принципиальная возможность проведения фотолитографии на пленках VO₂ для формирования заданной топографии поверхности (метаматериалы). Выявлен яркий гистерезис проводимости исследуемых образцов от температуры в окрестностях точки перехода как при постоянном токе, так и при переменном в СВЧ диапазоне длин волн (рис. 1).

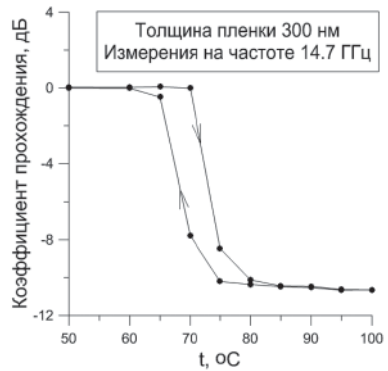


Рис. 1. R(T) для образца VO₂

Литература

1. **Chen H.-T. et al.** Active terahertz metamaterial devices // Nature. 2006. Vol. 444, № 7119. P. 597–600.
2. **Zhou Y.** Electrical switching dynamics and broadband microwave characteristics of VO₂ radio frequency devices // J. Appl. Phys. 2013. Vol. 113, № 18. P. 184501.
3. **Makarevich A. M. et al.** Chemical synthesis of high quality epitaxial vanadium dioxide films with sharp electrical and optical switch properties // J. Mater. Chem. C. 2015. Vol. 3, № 35. P. 9197–9205.

П. В. Митасов, аспирант;
 рук.; И. Б. Варлашов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»),
 А. В. Артамонов, научный сотрудник (ООО «Технологические
 системы защитных покрытий»)

ИССЛЕДОВАНИЕ АНОДНЫХ ОКИСЛОВ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО InAs, СОДЕРЖАЩИХ ФТОР

Методами фотоэлектронной спектроскопии и вольт-фарядных характеристик исследовались профили распределения элементного состава и электрофизические характеристики анодных окислов монокристаллического InAs при разных параметрах режима анодирования во фторсодержащих электролитах. Образцы имели толщину от 29 до 53 нм, 3 пленки получили при плотности тока анодирования $0,5 \text{ mA/cm}^2$, 3 пленки — при $0,055 \text{ mA/cm}^2$ [1]. На рис. 1 показаны результаты исследований.

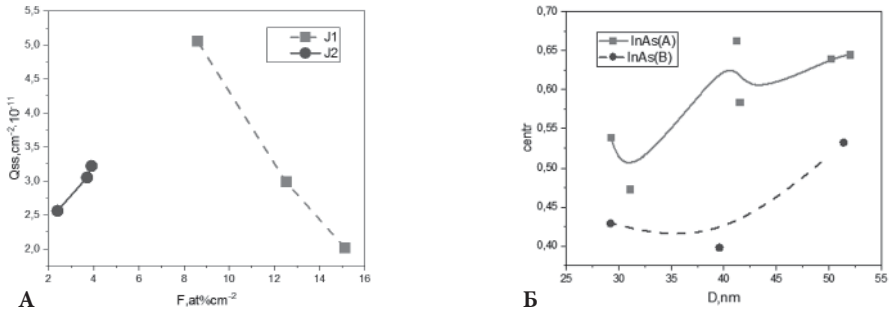


Рис. 1. А — Зависимость плотности поверхностного заряда на границе раздела от поверхностной концентрации фтора приведенной к границе раздела для пленок, полученных при плотностях тока $J_1=0,5 \text{ mA/cm}^2$ и $J_2=0,055 \text{ mA/cm}^2$; Б — зависимость центра распределения концентрации фтора приведенного к толщине окисла от толщины окисла на сторонах А(InAs) и В(InAs).

Установлено, что плотность заряда на границе раздела InAs-анодный окисел зависит от поверхностной концентрации фтора приведенной к границе раздела с полупроводником: с увеличением концентрации встроенный заряд уменьшается. При меньшей плотности тока зависимость практически отсутствует. При увеличении толщины окисных пленок центр распределения концентрации фтора смещается ближе к границе раздела с полупроводником. Для уменьшения встроенного заряда необходимо проводить анодирование с большей плотностью тока, с большей толщиной и на стороне индия.

Литература

1. Артамонов А. В., Астахов В. П., Варлашов И. Б., Евстафьева Н. И., Митасов П. В. Состав анодных окисных пленок на кристаллах InAs. Тонкие химические технологии. 2015. Т. 10, № 5. С. 13–18.

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

ТЕРМОПОЛЕВЫЕ КАТОДЫ ШОТТКИ И ИХ ОСОБЕННОСТИ

В настоящее время для решения научно — технологических задач в различных областях физики и химии поверхности, а также микро- и наноэлектроники широко используются приборы растровой электронной микроскопии, спектроскопии и установки электронной литографии. Источником электронов в большинстве указанных приборов и установок являются так называемые катоды.

Наиболее простым источником электронов в электронных микроскопах является термоэмиссионный катод из вольфрама (рабочий элемент — V-образная вольфрамовая проволока). Характеристики металлических катодов: эмиссионный ток 10^5 А/м², рабочая температура 1500–1700°С. Однако вольфрамовый катод не долговечен, обладает недостаточной (для многих случаев) электронной яркостью (количество электронов, приходящихся на единицу телесного угла). Более интенсивный поток электронов обеспечивается термоэмиссионным катодом из LaB₆, рабочим элементом в нем является монокристалл гексаборида лантана.

Лучшим источником электронов является катод Шоттки с термополевой эмиссией. Он состоит из подогреваемой иглы из фольрама и оксидом циркония на кончике, с острия которой приложенным потенциалом «стягиваются электроны» (используется эффект туннелирования электронов). Этот источник эксплуатируется при давлении не выше 10^{-6} Па и рабочей температуре 1800°С. Данный тип катода обеспечивает высокие (свыше 200 нА) и стабильные токи пучка. Сложности в эксплуатации катодов с термополевой эмиссией компенсируются узким распределением по энергии ускоренных электронов и сроком службы — более 2-х лет.

В работе рассматриваются принципы работы катодов с термополевой эмиссией их конструкции и методика их изготовления.

Литература

1. **Swanson Lyn W., Schwind Gregory A.** A review of the ZrO/W Schottky cathode // Handbook of Charged Particle Optics / Ed. J. Orloff. CRC Press, Boca Raton, FL, 1997. P. 77–102.
2. **Шиммель Г.** Методика электронной микроскопии. Издательство «МИР», М., 1972, 301 с.

А. С. Поливанова, студ.;
рук. О. А. Доценко, к. ф.-м. н., доц. (ТГУ, Томск)

КОНЦЕНТРАЦИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ОДНОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

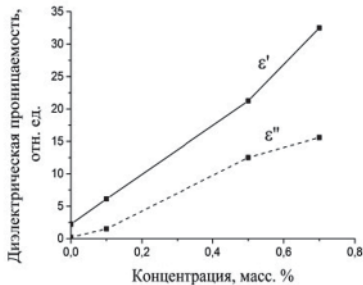


Рис. 1. Зависимость диэлектрической проницаемости от концентрации ОУНТ

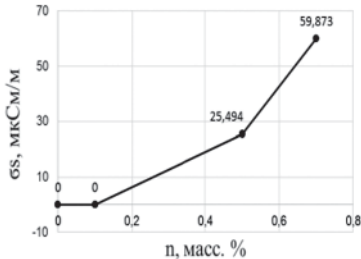


Рис. 2. Зависимость удельной электрической проводимости от концентрации ОУНТ, ρ — концентрация ОУНТ

от 5 до 33 отн. ед., мнимая — от 0.2 до 15 отн. ед., соответственно. Это указывает на то, что добавление менее 1 масс. % проводящих наноструктур в связующее приводит к изменению диэлектрических свойств композита почти в 6 раз.

Для подтверждения этого с помощью LCR измерителя конденсаторным методом была измерена удельная электрическая проводимость (УЭП) образцов (рис. 2). Из рис. 2 видно, что при добавлении ОУНТ УЭП резко увеличивается, и материал становится проводящим.

Таким образом, изменяя концентрацию ОУНТ, можно изготавливать материалы радиотехнической техники с разными значениями ДП и УЭП.

В настоящее время широко исследуются электрофизические свойства композиционных материалов на основе наноструктурных наполнителей. Одностенные углеродные нанотрубки (ОУНТ) являются представителями такого класса наполнителей. Их уникальные электрические и физические свойства можно использовать для создания современных радиоматериалов.

Перед данной работой была поставлена цель — исследовать влияние концентрации ОУНТ на электрофизические свойства композита. Были изготовлены образцы материала, содержащие эпоксидный клей ЭДП-20 и ОУНТ (TUBALL™) с концентрациями: 0.0, 0.1, 0.5 и 0.7 масс. %. Готовые образцы — это длинные тонкие стержни и плоскопараллельные пластинки. Диэлектрическая проницаемость (ДП) экспериментальных образцов была измерена резонаторным методом. В качестве измерительной ячейки использовался прямоугольный объемный резонатор с рабочей частотой 4.286 ГГц. На рисунке 1 представлена зависимость ДП от концентрации наполнителя. Из рисунка 1 видно, что при добавлении нанотрубок 0.1 и 0.7 масс. % действительная часть ДП композита увеличивается

*Д. С. Рассказа, маг.; Д. В. Оплеухин, маг.;
рук. В. А. Смолин, асп. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНО- ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В ДИАПАЗОНЕ 1,5–2 МКМ

В последние годы существенно увеличилась частота использования беспилотных воздушных судов (БВС) в военных операциях. Одним из перспективных направлений обнаружения БВС является пассивная локация в оптических диапазонах [1].

Для проведения исследований в диапазоне длин волн 1,5–2 мкм был спроектирован измерительно-вычислительный комплекс (ИВК), функциональная схема которого приведена на рис. 1.

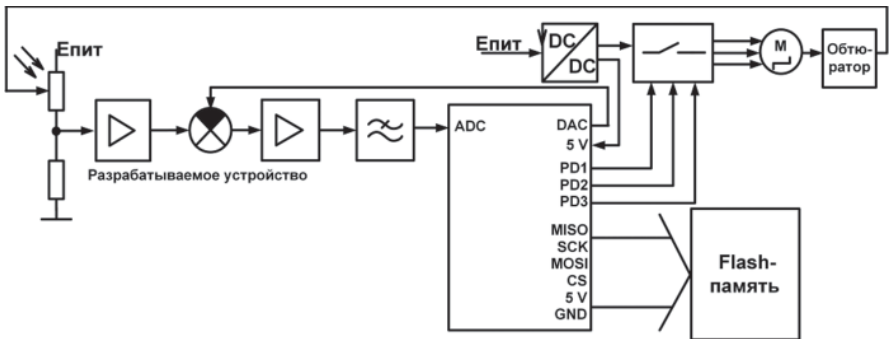


Рис. 1. Функциональная схема ИВК

В качестве приемника оптической энергии используется фоторезистор ФС-А1. Обработанный сигнал поступает на 12-разрядный АЦП микроконтроллера и пересчитывается в энергетическую яркость. Для компенсации температурной погрешности используется ЦАП. Обработанные данные размещаются во внешней flash-памяти в виде матриц.

Исследования показали, что энергетическая яркость ясного неба составляет порядка $3 \cdot 10^{-9}$ Вт·см⁻²·ср⁻¹, а яркость облачных полей, в зависимости от состава облаков (содержание в них водяных капель или кристаллов льда), может меняться от $5 \cdot 10^{-9}$ Вт·см⁻²·ср⁻¹ до $1 \cdot 10^{-7}$ Вт·см⁻²·ср⁻¹.

В настоящее время проводится модернизация разработанного ИВК для проведения экспериментальных исследований отраженного излучения БВС.

Литература

1. **Якименко И. В.** Методы, модели и средства обнаружения воздушных целей на атмосферном фоне широкоугольными оптико-электронными системами. СПб.: Лань, 2014. — 176 с.

И. Р. Ризванов, асп.;
рук. И. Н. Мирошникова, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭПИТАКСИАЛЬНОГО РОСТА ГЕТЕРОСТРУКТУР GaN/AIN/InAlN ДЛЯ НЕМТ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ МОС-ГИДРИДНОМ РЕАКТОРЕ ТИПА ССS

В технологии эпитаксиального выращивания гетероструктур III–N наилучшие результаты получены при использовании газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений (МОС-гидридной эпитаксии, МОГФЭ). К сожалению, МОГФЭ тройного соединения InAlN сильно затруднительна из-за принципиально различных оптимальных условий роста алюминий и индий содержащих нитридов элементов III группы, что приводит к необходимости поиска неочевидных компромиссов при оптимизации технологических режимов, при этом возможность их нахождения зависит еще и от конструктивных особенностей реактора [1].

С целью оптимизации ростовых процессов использовалось специализированное программное обеспечение, позволяющее моделировать осаждение из газовой фазы с учетом геометрии реактора — Virtual Reactor (VRTM) Nitride Edition [2]. С помощью данной программы возможно решение задач теплопереноса, течения газовой смеси и переноса реагентов, в том числе многокомпонентной диффузии и химических реакций. Модели, встроенные в программный пакет, включают в себя гомогенные химические реакции разложения исходных прекурсоров, зародышеобразование и перенос частиц, а также гетерогенные химические реакции. Результаты моделирования включают в себя распределение температуры, концентраций газообразных веществ, тепловых потоков, скорости осаждения и других параметров в объеме реактора и по поверхности его конструктивных элементов.

В результате моделирования были изучены основные ростовые параметры процесса гетероэпитаксии, в зависимости от потока газоносителя, от давления в реакторе и различного соотношения реагентов элементов групп (V/III). Были получены оптимальные условия роста, позволяющие добиться высокой однородности роста по площади подложки и подавить паразитные реакции в газовой фазе.

Литература

1. **F. Scholz.** Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials, 35, 243 (1997).
2. http://www.str-soft.com/products/Virtual_Reactor/index.htm

Э. А. Рустамов, аспирант;
рук. А. С. Шнитников, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ)

МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНОСТИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА МОЩНОГО СВЧ-ТРАНЗИСТОРА НА БАЗЕ ГЕТЕРОЭПИТАКСИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ AlGaIn/GaN НА САМОРАЗОГРЕВ ПРИБОРА

Современный уровень СВЧ радиоэлектронных систем связи и обнаружения целей предъявляет жесткие требования к приемно-передающим модулям, являющихся основой данных устройств. Для реализации данных требований необходим переход на новую элементную базу, а именно СВЧ транзисторы на гетероэпитаксиальных структурах AlGaIn/GaN. Большая ширина запрещенной зоны E_g и соответственно большие напряжения пробоя, высокая слоевая концентрация электронов, обусловленная спонтанной и пьезоэлектрической поляризацией, и высокая скорость электронов делают эту гетеросистему чрезвычайно перспективной для мощных СВЧ-приборов.

Целью данной работы является модельное исследование влияния подвижности носителей заряда транзистора на структуре AlGaIn/GaN на величину тока. (рис. 1). Данный прибор был разработан в АО «ГЗ «Пульсар». С помощью моделирования в пакете программ ISE TCAD необходимо было решить следующие задачи: получить вольт-амперные характеристики для трех моделей с разными физическими параметрами: моделирование без учета эффекта саморазогрева, с учетом саморазогрева и с учетом саморазогрева, но при постоянной подвижности в канале. Величина постоянной подвижности была $\mu_n = 1450 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

По полученным вольт-амперным характеристикам (рис. 2) видно, что действительно уменьшение подвижности в канале вносит основной вклад в саморазогрев транзистора. В ходе моделирования были подобраны следующие неконтролируемые параметры транзистора: величина плотности поверхностного заряда $7.6 \text{ E}12 \text{ см}^{-2}$ и величина концентрации поверхностных ловушек $1.9 \text{ E}18 \text{ см}^{-3}$.

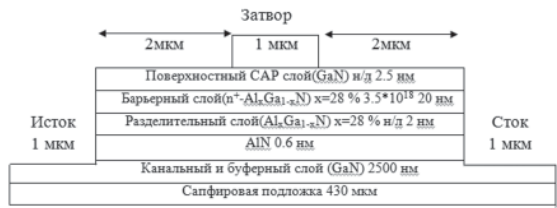


Рис. 1. Структура транзистора

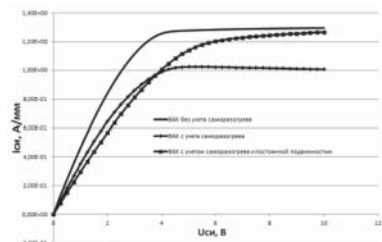


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики

*В. И. Антоненков, А. А. Рыков, И. А. Болобин, студ.;
рук. А. А. Пеньков, к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВХОДНОЙ ЕМКОСТИ БТИЗ

Одним из основным параметров, влияющих на задержку включения и выключения БТИЗ является его входная емкость (C_{iss}). Данный параметр представляет собой сумму паразитных емкостей БТИЗ: емкости перехода затвор-эмиттер (C_{GE}) и емкости перехода затвор-коллектор (C_{GC}) [1].

В рамках исследования было выяснено, что методы измерений, изложенные в ГОСТах, не позволяют достичь требуемого результата [2].

Решением этой проблемы является метод измерения, предложенный фирмой International Rectifier. В основе этого метода лежит тестовая схема для измерения входной емкости БТИЗ (рис. 1).

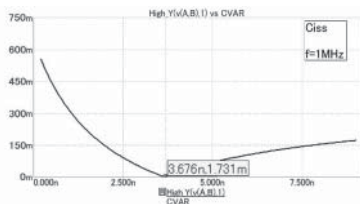
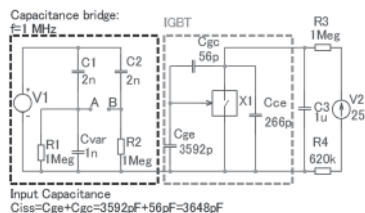


Рис. 1. Измерение величины входной емкости БТИЗ в Micro-Cap 10

Чтобы определить величину входной емкости, необходимо построить график зависимости амплитуды синусоидального напряжения ($V1$ на рис. 1) от изменяемой емкости ($Cvar$). Амплитуда напряжения становится минимальной тогда, когда величина емкости, входящей в состав моста, совпадает с величиной емкости, которую необходимо измерить (рис. 1).

Таким образом, измеренная величина входной емкости ($C_{iss} = 3676$ пФ) практически совпадает с той, что задана в схеме ($C_{iss} = 3648$ пФ). То есть, данный метод измерения позволяет достичь требуемого результата с высокой точностью.

Литература

1. Лебедев А. Г., Недолужко И. Г. Методика определения параметров Pspice моделей IGBT-транзисторов // Силовая электроника. 2005. № 2.
2. ГОСТ 20398.5-74. Транзисторы полевые.

Д. М. Шальнева, студ.; рук. А. И. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ТИПА ПРЕКУРСОРА НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК

Кремний-углеродные пленки, изготавливаемые плазмохимическим разложением кремнийорганических прекурсоров обладают физико-химическими свойствами, близкими к свойствам алмазоподобных углеродных пленок, но при этом свободны от их недостатков. Превосходством кремний-углеродных пленок являются: более высокая термостабильность, меньший коэффициент трения, лучшие диэлектрические свойства, высокая адгезия к различным типам подложек и низкие остаточные упругие напряжения, что позволяет реализовывать покрытия толщиной до 100 мкм. При этом высокая стабильность структуры этих пленок допускает легирование их металлами в широких пределах концентраций. Это обеспечивает изменение проводимости кремний-углеродных пленок вплоть до 18 порядков величины [1] при относительно небольших изменениях других свойств.

В большинстве исследований [1, 2] в качестве прекурсора использовался полифенилметилсилоксан (ПФМС). Однако изменение этого прекурсора должно приводить к изменению химического состава и структуры кремний-углеродных пленок. Это в свою очередь должно дать возможность нового метода управления свойствами пленок. В докладе приведены результаты исследования зависимостей электропроводности от температуры для кремний-углеродных пленок, полученных при плазмохимическом разложении кремнийорганического прекурсора — полиметилсилоксана (ПМС). Показано, что изменение режимов (варьирование потенциала смещения подложкодержателя и давления инертного газа (аргона) в вакуумной камере) существенно влияет на свойства пленки. Полученные результаты сравниваются с данными исследования аморфных алмазоподобных кремний-углеродных пленок, полученных разложением ПФМС [2].

Литература

1. **Попов А. И., Шупегин М. Л.** Диагностика структуры пленок кремний — углеродных наноконструктов. Труды V Всероссийской школы-семинара студентов, аспирантов и молодых ученых по направлению «Диагностика наноматериалов и наноструктур». Рязань: РГРТУ. 2012. Т. 2. С. 154–170.
2. **Баринев А. Д.** Структурная и химическая модификация аморфных алмазоподобных кремний-углеродных пленок. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2017.

С. Е. Шарков, студ.;
рук. П. И. Акимов, д. ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЫХОДНОЙ РЕЗОНАТОР МЛК С-ДИАПАЗОНА

В последние годы активно разрабатываются мощные электровакуумные усилительные СВЧ приборы, в частности, многолучевые клистроны (МЛК) для применения в линейных ускорителях электронов (ЛЭУ) промышленного и медицинского назначений.

В электродинамической системе (ЭДС) МЛК используются кольцевые резонаторы. Серьезной проблемой, возникающей при их использовании, является нарушение азимутальной равномерности СВЧ поля в выходном резонаторе, связанном с внешней нагрузкой аксиально-несимметричным элементом — щелью связи, расположенной на боковой стенке резонатора, вследствие чего электромагнитное поле искажается из-за внесенной щелью асимметрии [1].

В работе рассмотрены и реализованы способы компенсации нежелательного влияния щели связи на электромагнитное поле выходного резонатора МЛК для увеличения электронного КПД и коэффициента усиления прибора. С использованием 3D пакета программ Ansoft HFSS проведено численное моделирование электродинамических характеристик конструкции выходного резонатора с оптимизацией величин зазоров взаимодействия в пролетных каналах. На рис. 1 представлено изменение АЧХ при оптимизации конструкции резонатора.

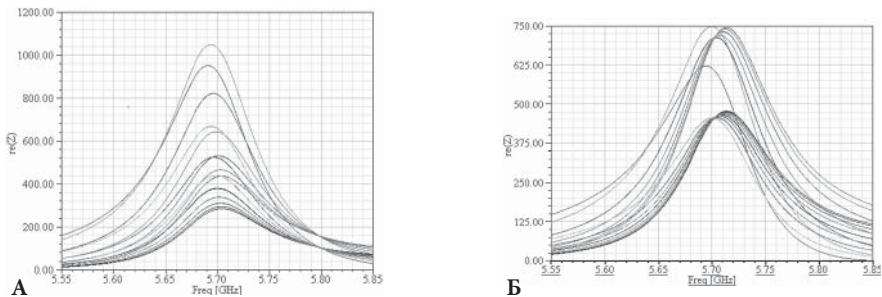


Рис. 1. АЧХ до и после оптимизации конструкции резонатора
 А — при исходном зазоре взаимодействия, Б — при оптимальном зазоре взаимодействия

В результате существенной коррекции конструкции резонатора удалось добиться повышения уровня выходного сигнала на 19,2%, а, следовательно, и увеличения КПД прибора.

Литература

1. Карлинер М. М. «Электродинамика СВЧ» — Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2006. — 258 с.

С. В. Сурков, студ.;
рук. П. И. Акимов, д. ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СОГЛАСОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОЙ ЗС ТИПА ЦСР МОЩНОЙ ЛБВ СМ-ДИАПАЗОНА

Наибольшее распространение в современной бортовой радиолокационной аппаратуре получили усилители ЛБВ О-типа, с замедляющей системой (ЗС) в виде цепочки связанных резонаторов (ЦСР).

Решение задач расширения рабочей полосы усиления и увеличения средней выходной мощности ЛБВ требует оптимизации электродинамических характеристик ЗС. При этом одной из наиболее сложных и актуальных является задача согласования ЗС с передающими линиями, поскольку эксплуатационные характеристики ЛБВ в значительной мере определяются полосовой характеристикой ЦСР — зависимостью КСВн от частоты питающего генератора.

Работа посвящена исследованию возможностей преодоления принципиальных трудностей согласования ЗС, возникающих при разработке и проектировании согласующих элементов ЛБВ. Проведен поиск конструктивных методов согласования неоднородной ЗС мощного усилителя см-диапазона длин волн с использованием трехмерного численного моделирования электродинамических характеристик ЗС в программе CST MWS [1]. Результаты согласования входной и выходной секций ЗС лампы представлены на рис. 1.

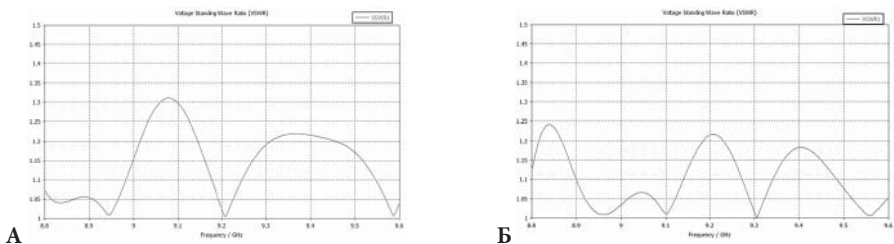


Рис. 1. Результаты согласования ЗС (зависимость КСВн от частоты)
А — входной секции лампы, Б — выходной секции лампы

В итоге, благодаря изменениям конструкции лампы, удалось добиться согласования ЗС ЛБВ во всем рабочем диапазоне частот (8,8–9,6 ГГц) и снизить КСВн ниже требуемого уровня — 1,5.

Литература

1. Курушин А. А., Пластиков А. Н. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio. — М. Изд-во МЭИ, 2011. — 155 с.

*Д. Ю. Терехов, асп., Д. В. Пепеляев, студ.;
рук. А. А. Шерченков, д.т.н., проф. (НИУ «МИЭТ»)*

ОДНОВРЕМЕННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ТЕРМО-ЭДС И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И МЕХАНИЗМЫ ПЕРЕНОСА НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$

Халькогенидные стеклообразные полупроводники $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ активно применяются в технологии энергонезависимой электрической фазовой памяти. Пере-запись информации в ячейках фазовой памяти осуществляется посредством низкоэнергетического электрического импульса, приводящего к существенному разогреву материала в ячейки. Как следствие, термоэлектрические явления, начинают оказывать существенное влияние на величину тока чтения и программирования, что в свою очередь может приводить как, к уменьшению так, и увеличению энергопотребления, ошибкам программирования и ускоренной деградации ячеек фазовой памяти. Учет влияния термоэлектрических эффектов на работу ячейки фазовой памяти напрямую связан с процессами токопереноса в наноразмерных слоях материалов GST, что требует фундаментальных знаний об особенностях переноса носителей заряда, термоэлектрических свойствах и типе проводимости.

В связи с этим, целью данной работы было изучение механизмов переноса носителей заряда по результатам исследования температурных зависимостей термоэлектрических и электрофизических свойств в наноразмерных тонких пленках халькогенидного полупроводника $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, полученных методом вакуум-термического испарения.

Результаты исследования температурных зависимостей коэффициента термо-ЭДС и удельного сопротивления показали, что с увеличением температуры от комнатной до 135°C наблюдается уменьшение коэффициента термо-ЭДС с 450 до 360 мкВ/К и удельного сопротивления с 30,9 до 0,47 Ом•см. В диапазоне температур от 135°C до 145°C происходит резкое падение этих параметров до 35 мкВ/К и 0,0029 Ом•см соответственно, что обусловлено кристаллизацией тонких пленок. Установлена экспоненциальная температурная зависимость электропроводности и линейная зависимость термо-ЭДС в диапазоне температур от комнатной до 135°C . Нахождение энергий активаций проводимости (E_σ) и коэффициента термо-ЭДС (E_α) по температурным зависимостям для аморфных тонких пленок $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ показало, что $E_\sigma = 0,27$ эВ, а $E_\alpha = 0,30$ эВ. Разность в энергиях активации $E_\sigma - E_\alpha = 0,03$ эВ определяет энергию активации прыжка по локализованным состояниям на хвостах зон.

Д. Н. Туровский, студ.;
рук. Ю. В. Ануфриев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МИКРОЗОНДОВ

Вольфрамовые микрозонды находят широкое применение в биологических исследованиях, сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), в наноманипуляторах электронных микроскопов и зондовых оптических станций, а также в других различных областях. Это определяет актуальность формирования методики создания микрозондов.

В целом, существуют два направления изготовления вольфрамовых микрозондов: механический и электрохимический. Поскольку речь идет о размерах конструкции острия от нескольких микрон до нескольких десятков нанометров, в нашей методике использовалось электрохимическое травление, содержащее в себе несколько режимов изготовления, таких как: статическое травление постоянным током, динамическое травление и двухшаговое динамическое травление [1, 2].

Цель исследования — создание методики изготовления диагностических микрозондов, подбор оптимального режима под задаваемые геометрические параметры.

В данной работе рассматриваются различные задачи изготовления микрозондов, определяющие их геометрические параметры, также исследуется зависимость геометрических параметров микрозондов от режима изготовления.

Литература

1. **Bing-Feng Ju, Yuan-Liu Chen, Yaozheng Ge** The art of electrochemical etching for preparing tungsten probes with controllable tip profile and characteristic parameters // Review of Scientific Instruments. Т. 82. № 1.
2. **Yasser Khan, Hisham Al-Falih, Yaping Zhang, Tien Khee Ng, Boon S. Ooi** Two-step controllable electrochemical etching of tungsten scanning probe microscopy tips // Review of Scientific Instruments. Т. 83. № 6.

А. И. Васькин, студ.;
рук. П. И. Акимов, д. ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВТОРИЧНО-ЭЛЕКТРОННЫЙ СВЧ-РАЗРЯД

Окна ввода-вывода энергии СВЧ-энергии относятся к наиболее нагруженным узлам приборов и во многом определяют их надежность, а также саму возможность получения полосы частот и выходной мощности. При передаче высоких уровней мощности через устройства вывода энергии в них протекают разнообразные физические процессы, которые могут привести к разрушению вакуумноплотной диэлектрической перегородки между прибором и нагрузкой (рис. 1).

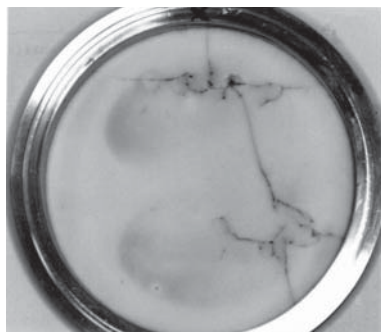


Рис. 1. Разрушенная вторично-электронным разрядом керамическая перегородка вывода энергии

Возможно возникновение в них специфического разряда, обусловленного процессами вторичной электронной эмиссии, называемым мультипакторным разрядом. Вероятность возникновения такого разряда зависит от геометрии окна и уровня передаваемой мощности [1].

В работе рассмотрено несколько основных типов окон вывода энергии. Для каждого окна определены пороговые значения мощности как со стороны генератора, так и со стороны нагрузки [2]. Приведены изображения распределения соударений с поверхностью перегородки и распределение накопленного заряда. Для объективности сравнения расчет всех окон выполнен на одной и той же частоте, а размеры прямоугольных волноводов одинаковы.

Литература

1. **Michizono, S., Matsumoto, T. and oth.** Development of C-Band High-Power Mix-Mode RF Window. Proc.of LINAC 2004. Lübeck, Germany. P.745–747.
2. **Прокофьев Б. В.** Численное моделирование тангенциального вторично-электронного СВЧ разряда — Электронная техника. — Сер. 1. Электроника СВЧ. — 1980. — Вып. 11 (323). — С. 29–34.

*Т. О. Жданкина, студентка;
рук. Ю. В. Ануфриев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ ПРЯМОЙ ЛИТОГРАФИИ ЛАЗЕРНЫМ ЛУЧОМ НА КОНЕЧНЫЕ СТРУКТУРЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ТРАВЛЕНИЯ

В современной микро- и наноэлектронике процесс литографии является одним из определяющих факторов, влияющих на минимальный размер элементов в структуре. Выбор метода литографии определяется возможностями производства и техническим требованиям к конечному изделию [1].

Метод лазерной литографии позволяет формировать изображение в слое резиста на поверхности подложки с помощью лазерного луча без предварительного изготовления масок с технологической нормой до 400 нм. Специально нанесенный резист поглощает ИК-излучение в области сканирования, благодаря чему область засветки становится нерастворимой.

Цель настоящей работы состоит в изучении принципов и особенностей лазерной литографии, а также разработке специализированных топологических шаблонов. Данные шаблоны должны удовлетворять требованиям технологических возможностей имеющегося оборудования и обеспечивать контроль процесса нанесения, проявления и экспонирования резиста [2]. Кроме того, предполагается применение вышеуказанных шаблонов для контроля процессов ионно-лучевого и плазмохимического травления.

В данной работе в качестве подложки использовалась кремниевая пластина, покрытая пленками Al и TiN. С помощью оптического микроскопа и пробной литографии определялся оптимальный режим экспозиции (фокус и интенсивность излучения). Далее выполнялся ряд экспериментов с небольшим изменением фокуса и времени экспозиции, определяющие геометрию краев фоторезиста, после чего проводилась выбранная операция травления.

На основе данного исследования получены зависимости влияния параметров экспозиции и фокуса лазерного пучка на финальную геометрию исследуемых топологических структур.

Литература

1. **Колецов Л. А.** Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок: учебное пособие для вузов. — СПб: Лань, 2008.
2. **Сейсян Р. П.** Нанолитография в микроэлектронике // Журнал технической физики. — 2011. — Т. 81, № 8. — С. 1–14.

Секция 12

БИОМЕДИЦИНСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель секции — к.т.н., доцент М.Н. Крамм

Секретарь секции — к.т.н., доцент Г.В. Жихарева

А. С. Бастрыгин, студ.; рук. Р. С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРА С ВХОДНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ РАДИО- И ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Отслеживание перемещения объектов для систем трекинга является одной из значимых задач в области виртуальной реальности. Современные системы трекинга: оптические и инерциальные, обладают существенными недостатками, такими как цена и проблемы заслонения для оптических и накопление ошибки слежения для инерциальных систем трекинга [1].

Решением этих проблем могут являться недорогие радиомодули, обладающие достаточной, но не приемлемой для виртуальной реальности точностью измерений, а также инерциальный датчик, обеспечивающий высокий темп измерений, но все еще страдающий от накопления ошибки слежения [1]. На вход фильтра, который объединяет эти два вида измерений и исправит ошибку каждого из видов, поступают данные с акселерометра и координаты, сформированные системой радиомодулей в реальном времени. После фильтрации возможно получить оценку процесса с темпом радиоизмерений, скорректированную инерциальными данными, которые в свою очередь лишены прежнего накопления ошибки, поскольку оценка производится по радиоданным, а не по инерциальным. Фильтром, способным осуществить подобную задачу, может являться «фильтр частиц» [2].

В данной работе передача данных осуществляется в реальном времени путем снятия показаний акселерометра мобильного устройства с использованием соответствующего приложения [3] и оценок расстояний, сформированных радиомодулями. Поступившие данные обрабатываются, формируя входные сигналы для фильтра. Фильтр частиц, используя в качестве начальных условий поступившие данные, формирует наиболее правдоподобную динамическую модель изменения положения точки в пространстве.

Полученные после фильтрации данные могут быть применены в системах трекинга виртуальной реальности, в отслеживании объектов внутри помещения, а также в качестве обратной связи экзопротезов для людей с ограниченными возможностями.

Литература

1. **Куковьякина Н. А.** Нелинейная фильтрация в системах трекинга // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов XXIII междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2017.
2. **Johansen A.M.** A Tutorial on Particle Filtering and Smoothing: Fifteen years later, Department of Statistics, University of Warwick, Coventry, CV47AL, UK, 2012.
3. Start Android — учебник по Android для начинающих и продвинутых. [Электронный ресурс] URL: <http://startandroid.ru/ru/uroki/vse-uroki-spiskom.html>.

В. А. Белов, студ.; рук. М. Н. Крамм, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА РЕАЛИСТИЧНОЙ МОДЕЛИ ЭПИКАРДА ДЛЯ КАРТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

Работа посвящена визуализации реальной поверхности сердца для решения обратных задач электрокардиографии. Рассматривается реалистичная 3D-модель поверхности сердца с использованием триангуляционного способа аппроксимации [1], в котором граничными элементами поверхности являются треугольники. Данные были размещены в файле, который состоит из блоков, содержащих для отдельных компартментов сердца два массива: а) массив, содержащий в каждой строке номер треугольника и номера вершин этого треугольника; б) массив, содержащий в каждой строке номер вершины и координат этой вершины. Триангуляционная модель поверхности сердца была построена в пакете программирования *MatLab*.

В качестве примера для визуализации распределения электрического потенциала на эпикарде использовался вариант дипольного электрического источника, расположенного в центре модели.

Пример распределения потенциалов на поверхности сердца, при ориентации диполя по оси x представлен на рис. 1.

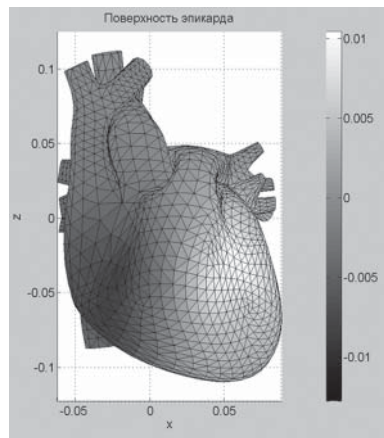


Рис. 1. Визуализация распределения электрического потенциала

Литература

1. Патент № 2360597, Российская Федерация, МПК А61В 5/0402. Способ определения электрической активности сердца / Бодин О. Н., Гладкова Е. А., Кузьмин А. В., Митрохина Н. Ю., Мулюкина Л. А. // Опубл. 27.04.2012, Бюл. № 12, — 12 с.

А. А. Бирбасов, студ.; рук. В. Ф. Устинов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОТЕЗА КИСТИ

Данная работа посвящена актуальной задаче разработки и исследования динамической модели функционального протеза кисти с оригинальным приводным устройством.

Протез состоит из четырех трехфаланговых и одного двухфалангового пальцев. Фаланги приводятся в движение системой приводных устройств — актюаторов, работающих по принципу изменения длины пряжи, посредством скручивания нерастяжимых ортотропных нитей [1].

Исследуется работа протеза в трех режимах:

- в режиме выставки осуществляется предварительная настройка системы, задается значение начального угла закрутки пряжи (угол выставки). В результате аналитического эксперимента выявлено, что с увеличением угла выставки уменьшаются требуемые максимальная скорость и управляющий момент приводного двигателя, но увеличивается время переходного процесса. Выполнена оптимизация угла выставки по параметру скорости;
- в режиме свободного перемещения элементов рассматривается динамика системы в свободном движении. На основе формализма Лагранжа составлены дифференциальные уравнения движения. Рассчитаны управляющие моменты, необходимые для перевода системы в требуемое положение, рассмотрен вид переходного процесса и определено время движения. Для уменьшения уровня перерегулирования переходного процесса используется демпфирующее устройство [2];
- в режиме контакта элементов выполнена имитация захвата условного предмета. По заданному приращению управляющих моментов найдены возникающие при контакте сторонние силы. Определены время переходного процесса и перерегулирование в условиях увеличившейся жесткости системы.

Литература

1. **Suzuki M.** Complex and flexible robot motions by strand muscle actuators. Climbing & walking robots, towards new applications / Edited by H. Zhang, Ltech Education and publishing, Vienna. Austria, 2007. P. 257–282.
2. **Распопов В. Я.** Микромеханические приборы. — М: Машино-строение, 2007. 476 с.

А. А. Блинников, асп.;
рук. В. С. Ижуткин, д. ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРОТОТИП ПЕРЕДАТЧИКА ДЛЯ УСТАНОВКИ ПО ЛОКАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕРМИИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ

Локальная гипертермия — это вид термотерапии, основанный на контролируемом, временном повышении температуры тела, отдельного органа или части органа, пораженного патологическим процессом. При гипертермии температура опухоли обычно повышается до 42–44°C. Для гипертермии глубоко расположенных новообразований предложено использовать фазированную цилиндрическую антенную решетку (ФЦАР) состоящую из дипольных излучателей, которая окружает тело пациента. [1] Для увеличения контроля температуры и фокусировки на ФЦАР подаются сигналы с различными фазами, а мощность нагрева зависит от скважности [2].

Данная работа посвящена созданию системы каскадного усиления и управления фазой для питания прототипа установки локальной гипертермии.

Технические требования к разрабатываемой системе следующие:

1. Выходная мощность в режиме постоянного сигнала не менее 60 Вт для каждого канала.
2. Диапазон регулировки фазы на каждом канале не менее 180°, дискретность не более 2°.
3. Работа в ОВЧ диапазоне.

Для обеспечения приведенных требований были разработаны усилительные каскады с микрополосковым делителем мощности. Управление фазой осуществляется благодаря фазовращателю Mini-circuits JSPHS-150 при помощи изменения напряжения на одном из контактов.

Моделирование было проводилось в САПР EMpro и Advanced Design System. В ходе моделирования работы описанной системы были разработаны модели пассивных и активных компонентов, в основе которых лежат экспериментальные характеристики каждого узла. Для достижения максимального КПД была проведена оптимизация схемы методом градиентного спуска.

Литература

1. **S. M. Polozov, A. M. Fadeev, E. A. Perelstein, V. N. Belyaev.** Cylindrical Phased Dipoles Array for Hyperthermia of Deep-Situated Tumors // Proc. of RU-PAC2012, p. 521–523.
2. **Девятников Н. Д.** Применение электроники в медицине и биологии. Электронная техника. Сер. СВЧ — техника. 1993. № 1 (455). С. 67–76

А. Ю. Бойко, студ.; рук. Г. В. Жихарева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЭГ-ПОТЕНЦИЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОДНОДИПОЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Алгоритмы решения обратной задачи электроэнцефалографии призваны повысить чувствительность и надежность диагностики электрической активности головного мозга [1]. При их апробации и исследовании актуально моделирование ЭЭГ-сигналов. Это позволит оценить погрешность алгоритмов, а также исследовать их помехоустойчивость.

Цель настоящей работы — моделирование ЭЭГ-сигналов с использованием однодипольной модели электрической активности головного мозга в однородной среде и с учетом границы «голова-воздух» [2].

Дипольный источник характеризуется шестью параметрами: тремя проекциями вектора момента \mathbf{D} и тремя координатами пространственного положения \mathbf{r}_0 . В качестве ЭЭГ-сигналов рассчитывались потенциалы диполя, расположенного внутри сферы (модели головы), радиусом $r_S = 9$ см, в точках размещения электродов \mathbf{r} системы 10–20%, по формулам для однородной безграничной среды проводимостью σ и с учетом границы «голова-воздух»:

$$\varphi_0 = \mathbf{D} \cdot (\mathbf{r} - \mathbf{r}_0) / (4\pi\sigma |\mathbf{r} - \mathbf{r}_0|^3), \quad (1)$$

$$\varphi = \frac{1}{2\pi\sigma r_S^2 \rho} \sum_{i=1}^3 D_i \left[\frac{C_{Li} - C_{Gi}}{\rho^2} + \frac{(1+\rho)C_{Li} - C_{Gi}}{(1+\rho)^2 - f^2} \right], \quad (2)$$

где $f = |\mathbf{r}_0|/r_S$, $\rho = |\mathbf{r} - \mathbf{r}_0|/r_S$, C_{Gi} и C_{Li} — направляющие косинусы радиус-векторов \mathbf{r}_0 и \mathbf{r} .

В результате проведенной работы по формулам (1) и (2) были рассчитаны по 27 массивов, соответствующих различным траекториями перемещения диполя при различной ориентации вектора момента. Анализ рассчитанных ЭЭГ-потенциалов позволил сделать вывод, что при учете границы «голова-воздух» форма распределения потенциалов сохраняется, о чем свидетельствует коэффициент корреляции ~0.996, а значения ЭЭГ-потенциалов возрастают на величину ~64%.

Полученные массивы будут применены для исследования алгоритма реконструкции эквивалентного дипольного источника электрической активности головного мозга [1].

Литература

1. **Бойко А. Ю., Жихарева Г. В.** Реконструкция характеристик эквивалентного дипольного источника электрической активности головного мозга // Радиотехника, электротехника и энергетика: Тез. докл. XXIII МНТК студентов и аспирантов: В 3 т. М.: Издательский дом МЭИ, 2017. Т. 1.
2. **Титомир Л. И., Кнеппо П.** Математическое моделирование биоэлектрического генератора сердца. — М.: Наука. Физматлит, 1999.

Е. В. Булатова, студ.; рук. Е. В. Шалимова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА DFA ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ

Электроэнцефалограмма (ЭЭГ) представляет собой сложный сигнал, который включает в себя непериодические процессы, квазипериодические и периодические колебания. В последние годы исследования показали, что сложная временная структура постоянных колебаний безмасштабна и характеризуется временными корреляциями дальнего действия. Метод *detrended fluctuation analysis* (DFA) показывает, что генетические изменения, нормальное развитие или заболевания могут привести к различиям в безмасштабной амплитудной модуляции колебаний [1]. Кроме того, амплитуда динамики заметно зависит от времени усредненной мощности колебаний, что свидетельствует о том, что DFA обеспечивает уникальное понимание функциональной организации нейронных систем. Показатель DFA интерпретируется как оценка параметра Херста [2]. При применении DFA к нейронным колебаниям нас интересует, как изменяется амплитуда колебаний во времени.

Актуальность работы состоит в том, что исследование поведения корреляции временных рядов может привести к ошибочным данным. Для того чтобы устранить эту проблему, был изобретен метод DFA, в качестве дальнейшего развития анализа колебаний.

Метод DFA был реализован в математическом пакете MatLab. Для проведения исследования были использованы реальные ЭЭГ-сигналы, взятые из базы Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что для нормальной работы мозга показатель DFA должен находиться на участке $0,5 < \alpha < 1$. Такой диапазон α показывает, что есть дальние временные корреляции, которые свидетельствуют о здоровом состоянии человека. Выход параметра за пределы диапазона говорит о каких-либо отклонениях, либо о действиях внешних факторов, таких как лекарства.

Литература

1. **Goldberger, A.L., Amaral, L.A. N., Glass, L., Hausdorff, J.M., Ivanov, P. Ch., Mark, R. G., et al.** (2000). PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: components of a new research resource for complex physiologic signals // *Circulation*. 2000;101:e215-e220. DOI: <https://doi.org/10.1161/01.CIR.101.23.e215>.
2. **Linkenkaer-Hansen, K., Smit, D.J.A., Barkil, A., Van Beijsterveldt, T.E.M., Brussaard, A. B., Boomsma, D.I., et al.** Genetic contributions to long-range temporal correlations in ongoing oscillations // *Journal of Neuroscience*. 2007, 27 (50) 13882–13889; DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3083-07.2007>.

А. И. Черников, асп.; рук. М. Н. Крамм, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ПОТЕНЦИАЛОВ НА ПОВЕРХНОСТИ, ОКРУЖАЮЩЕЙ МИОКАРД

В нашем исследовании мы рассчитывали распределение электрических потенциалов на поверхности, окружающей миокард. Данная задача необходима для стандартизации визуального представления при анализе распределения электрического потенциала в кардиологии. В качестве исходных данных используется сетка координат на поверхности торса, а также электрические потенциалы на поверхности торса, которые определяются в результате измерений многоканальным электрокардиографом.

Электрический потенциал может быть рассчитан по известным потенциалам на поверхности торса с использованием формулы Грина [1]. В данном исследовании мы использовали модель, состоящую из двух соосных цилиндров. В качестве модельного источника рассматривался электрический диполь, расположенный внутри цилиндров. Для оценки погрешности расчета потенциалы на поверхности внутреннего цилиндра также рассчитывались методом конечных элементов (МКЭ) с мелкой сеткой (порядка 10^6 элементов). Для различных положений диполя мы получили коэффициент корреляции порядка 99% и нормированную ошибку от 3 до 9%. Результаты расчетов предоставлены на рис. 1. Здесь слева изображено распределение потенциалов на внутренней поверхности, полученное посредством расчета, а справа — полученное с помощью МКЭ.

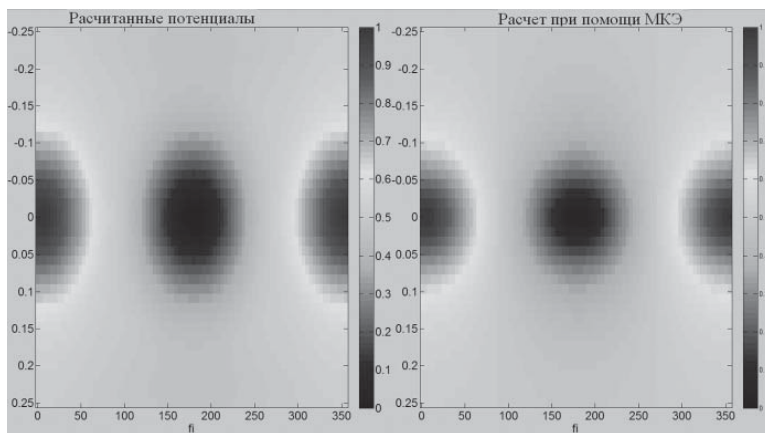


Рис. 1. Распределение потенциалов

Литература

1. Титомир Л. И., Кнеппо П. Математическое моделирование биоэлектрического генератора сердца. М.: Наука, Физматлит, 2000. 448 с.

А. М. Эверсова, студ.; рук. М. Н. Крамм, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА СЕРДЦА ПРИ ПОМОЩИ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА «ПОЛИСПЕКТР-12/ЕХ»

Серийно выпускаемые десятиканальные электрокардиографы имеют два дополнительных канала записи и могут быть использованы для проведения реконструкции эквивалентного электрического генератора сердца (ЭЭГС) дипольного типа [1]. При этом важно убедиться в стабильности результатов реконструкции ЭЭГС, получаемых с помощью 10-канального электрокардиографа («ПОЛИСПЕКТР-12/ЕХ»).

В данной работе было осуществлено сравнение результатов реконструкции, полученных при одновременном съеме длительностью 30 секунд двумя электрокардиографами (14-канальным и 10-канальным): временных зависимостей дипольного источника по координатам x (рис. 1), y , z , моментов диполя M (рис. 2), погрешностей метода [1].

В результате сравнения было выяснено, что кардиосигналы для 10-канального электрокардиографа имеют схожий с 14-канальным характер. Для момента R-пика координаты отличаются на 1–7 мм, невязки — на 3–7%, момент диполя — на 0.01–0.02 мА·м. Был сделан вывод о том, что серийно выпускаемый 10-канальный электрокардиограф «ПОЛИСПЕКТР-12/ЕХ» фирмы «Нейрософт» может быть использован в качестве прибора для проведения реконструкции ЭЭГС.

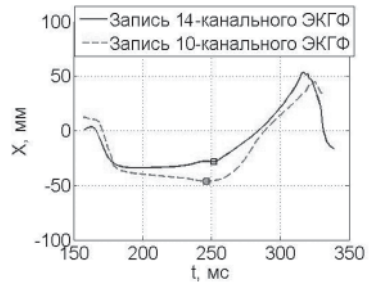


Рис. 1. Временная зависимость дипольного источника по координате x для пациента 1

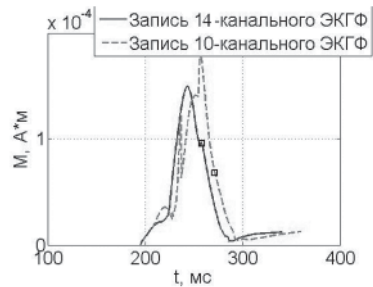


Рис. 2. График зависимости момента диполя M для пациента 1

Литература

1. Эверсова А. М., Крамм М. Н., Стрелков Н. О. Реконструкция электрического генератора сердца при помощи электрокардиографа «ПОЛИСПЕКТР-12/ЕХ» // Радиотехника, электроника и энергетика: Тез. докл. международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. Т. 1., М., МЭИ, 2017. — с. 228.

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

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СЛОЖНОСТИ СИГНАЛОВ С АДДИТИВНОЙ ФРАКТАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ

Понятие «сложности» объекта относится к числу фундаментальных научных понятий. Этой проблемой занимались многие ученые по всему миру, и она до сих пор привлекает активное внимание. Имеются многочисленные попытки применения понятия «сложности» к прикладным биомедицинским задачам, в том числе к анализу электроэнцефалограммы (ЭЭГ) человека. Это связано с тем, что ЭЭГ-сигнал в силу своей нестационарности относится к наиболее сложным физическим сигналам. Поэтому методы, основанные на подгонке различных моделей к уже зафиксированной ЭЭГ, не подходят для описания ее новых участков. Для этого необходимо предварительно сегментировать ЭЭГ на квазистационарные участки с тем, чтобы после сегментации для каждого участка подбирать свою математическую модель [1]. Для целей сегментации предпринимались попытки применить понятие «сложности», чтобы выделять в ЭЭГ-сигнале однородные по «сложности» фрагменты.

ЭЭГ-сигнал по своей природе является недетерминированным и аperiodическим, но, несмотря на это, в некоторых его фрагментах могут быть обнаружены самоподобные участки (фракталы). В данной работе исследовано применение метода оценки сложности сигнала для синусной функции и функции Вейерштрасса, а также проведен сравнительный анализ сложности данных функций. Функция Вейерштрасса была выбрана в качестве исследуемой, по той причине, что ее структура является фрактальной (обладает признаком самоподобия), как и ЭЭГ-сигнал в некоторых случаях.

Основная идея данного метода состоит в том, что сложность кривой оценивается относительной долей информации, которая необходима для ее восстановления с заданной точностью по набору значений в конечном числе точек при помощи заданного набора методов [2].

Подобная мера сложности представляет собой индивидуальную характеристику конкретной кривой. Вычисление значения сложности кривой на сегменте произвольной длины позволяет рассмотреть динамику этого показателя, и проанализировать поведение системы в разных временных масштабах.

Литература

1. Демидов Е. Е., Даревская Ю. В., Моренков О. А. и др. Нелинейный корреляционный анализ // Обзорение прикладной и промышленной математики. М.: Изд-во ТВП. 1999. Т. 6. Вып. 1. С. 4–57.
2. Дарховский Б. С., Каплан А. Я., Шишкин С. Л. О подходе к оценке сложности кривых (на примере электроэнцефалограммы человека) // Автоматика и телемеханика. 2002. № 3. С. 134–140.

Л. С. Иванова, В. А. Подмосковная, А. С. Шипаева, студенты (НИУ «МЭИ»); рук. Д. В. Леонов, н. с. (ГБУЗ «НПЦМР ДЗМ», Москва)

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА В ДОПЛЕРОВСКОМ ТРАКТЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕДИЦИНСКОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПРИБОРА

В ультразвуковой медицинской диагностике доплеровский сигнал содержит информацию о движении объекта. Подробная модель такого сигнала дана в [1]. В докладе анализируются два источника доплеровского сдвига.

Во-первых, доплеровский сдвиг может быть вызван движением эритроцитов в кровеносном сосуде. В таком случае оценивают их скорость.

Для контроля измерения скорости применен доплеровский фантом с трубкой, имитирующей сонную артерию. Она погружена в тканеэквивалентное вещество.

Обработка сигналов осуществлялась с использованием классических алгоритмов доплеровского тракта, написанных нами на C++. Определяются характеристики распределения оценки скорости. Анализируются факторы, влияющие на погрешность оценки.

Во-вторых, причиной сдвига могут служить колебания зондируемого объекта. Для возбуждения таких колебаний применен дополнительный источник акустического сигнала, размещенный под фантомом на оси облучения.

Разработан и изготовлен специальный ультразвуковой фантом, содержащий гиперэхогенный объект. Дополнительный источник вынуждал объект колебаться. В ходе эксперимента пошагово менялась частота возбуждающего сигнала. Оценивалась частота колебаний объекта и погрешность ее оценки. Строилась и анализировалась частотная зависимость интенсивности мерцающего артефакта [2], сравнивалась с частотной зависимостью мощности.

Результаты работы будут использованы для совершенствования диагностического УЗ режима обнаружения конкрементов и кальцинатов.

Литература

1. **Леонов Д. В., Кульберг Н. С., Громов А. И., Морозов П. С., Ким С. Ю.** Исследование причин возникновения мерцающего артефакта в доплеровских режимах ультразвукового медицинского диагностического устройства // Акустический журнал. 2018. Том 64. № 1. С. 100–111.
2. **Леонов Д. В., Кульберг Н. С., Фин В. А.** Исследование мерцающего артефакта на фантоме в режиме цветового доплеровского картирования // Информатика, управление и системный анализ: Труды IV ВНКМУ с международным участием. Т. II. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2016. С. 44–51.

Д. В. Калашникова, студ.; рук-ли М. Н. Крамм, к. т. н., доц.;
Д. С. Винокуров, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОМБИНИРОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА СЕРДЦА: МЕТОДА ГАБОРА-НЕЛЬСОНА И ОПТИМИЗАЦИОННОГО МЕТОДА

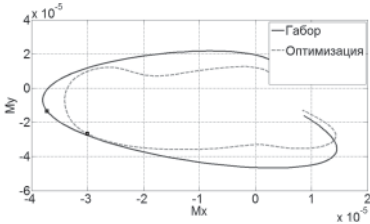


Рис. 1. Годографы движения момента диполя для двух методов реконструкции ЭГС

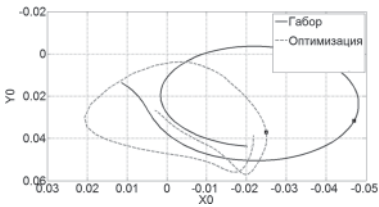


Рис. 2. Треки движения диполя для двух методов реконструкции ЭГС

Комбинирование методов реконструкции эквивалентного электрического генератора сердца (ЭЭС) дипольного типа вносит дополнительную информацию об электрической активности сердца и позволяет снизить неточности ранее разработанных методик.

Суть комбинирования заключается в использовании рассчитанных методом Габора-Нельсона [1] поперечных параметров диполя по всему кардиоциклу в оптимизационном методе реконструкции ЭЭС [2]. С целью реализации этого подхода нами получены годографы и треки ЭЭС в области R-зубца для двух методов реконструкции, изображенных на рис. 1 и рис. 2 (точки соответствуют моменту R-пика). Годограф демонстрирует движение конца вектора диполя. Трек показывает движение электрического центра сердца, он локализован в начале координат со сдвигом влево, что соответствует реальному расположению сердца.

Была получена количественная оценка коэффициентов корреляции между треками и между годографами, полученными по двум методам: для годографов $R1 = 0.95$, для треков $R2 = 0.82$.

При комбинировании методов возможно заимствование из метода Габора-Нельсона значений координат диполя или дипольного момента.

Литература

1. **D. Gabor, C. V. Nelson.** Determination of the resultant dipole of the heart from measurements on the body surface // Journal Of Applied Physics. April, 1954, p. 413–416.
2. **Стрелков Н. О., Винокуров Д. С., Крамм М. Н.** Методика реконструкции параметров токового диполя сердца на модели торса человека в виде эллиптического цилиндра // сборник материалов XV МНТК Юго-Зап. гос. ун-т. — Курск, 2012. С. 45–48.

М. С. Караганов, студ.;
рук. С. В. Владимиров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ КАНАЛА СЪЕМА ДАННЫХ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО ПРИБОРА ТАХООСЦИЛОГРАФА

По наблюдению Росстата, заболевания, связанные с состоянием сердечно-сосудистой системы (ССС) человека, являются наиболее распространенной причиной смерти. Тахоосциллограф позволит диагностировать болезни и патологии ССС на ранней стадии и поможет принять врачу решение о назначении пациенту соответствующего лечения.

В обычных электронных тонометрах используется осциллометрический метод измерения артериального давления (АД), который проигрывает в точности аускультативному методу (методу тонов Короткого).

Тахоосциллометрический метод позволяет повысить точность измерения АД путем измерения бокового и среднего динамического давления, в дополнении к систолическому и диастолическому АД. Помимо того тахоосциллограммы (рис. 1) [1], получаемые в этом методе, несут большое количество полезной информации о состоянии ССС, анализируя которую можно вынести предположение о наличии (отсутствии) у пациента болезней и/или патологий ССС [2].

На данный момент был реализован один канал съема данных тахоосциллограмм. В дальнейшем планируется создание 6 каналов для синхронного съема тахоосциллограмм, что позволит повысить точность диагностики.

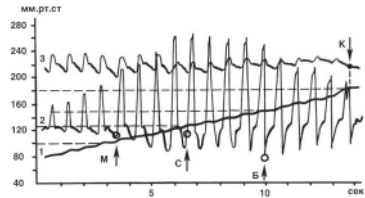


Рис. 1. Комплекс кривых, используемых в тахоосциллометрическом методе измерения АД (1 — кривая давления в манжете, 2 — тахоосциллограмма, 3 — кривая пульса лучевой артерии, М — минимальное АД, С — среднее, Б — боковое, К — конечное систолическое давление)

Литература

1. **Калакутский Л. И., Манелис Э. С.** Аппаратура и методы клинического мониторинга. М.: Высшая школа, 2004.
2. **Бурцев Е. В.** Автоматизированное рабочее место медицинского специалиста в области сосудистой патологии. Диссертация на соискание ученой степени кандидата т. н. М.: Вычислительный центр РАН, 1994.

Т. А. Хренникова, студ.; рук. В. А. Гречихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СИНТЕЗ УСТРОЙСТВА ОПТИМАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПАРАМЕТРА СИГНАЛА ГОМОДИННОГО ЛАЗЕРНОГО ДОПЛЕРОВКОГО ВИБРОМЕТРА

В связи с актуальностью измерений деформаций упругих элементов различных исследуемых объектов возникает потребность в дистанционных методах измерений и в разработке алгоритмов оценки полученных данных с минимальной погрешностью. Такие алгоритмы могут позволить обрабатывать информацию о деформациях для оптимизации и контроля качества хирургических инструментов, искусственных сердечных клапанов, мембран воздушных фильтров и слуховых аппаратов.

Мониторинг упругих деформаций объектов может осуществляться лазерными доплеровскими виброметрами (ЛДВ). В работе проведен синтез алгоритма оптимальной оценки информационного параметра сигнала гомодинного ЛДВ при известных неинформационных параметрах сигнала. Задача оценки неизвестного информационного параметра сводится к поиску соответствующего максимума функционала отношения правдоподобия $l[x(t) | m]$ [1]:

$$\frac{\partial}{\partial m} \ln l[x(t) | m] \Big|_{m=\tilde{m}} = \int_0^T u(t)[x(t) - u(t, \tilde{m})] dt = 0,$$

где $u(t)$ — сигнал гомодинного ЛДВ, m — индекс модуляции сигнала $u(t)$, $x(t)$ — аддитивная смесь $u(t)$ и широкополосного гауссова шума $n(t)$.

Также проведен синтез алгоритма оптимально оценки информационного параметра сигнала гомодинного ЛДВ при неизвестных начальных фазах модулирующего сигнала Φ и сигнала ЛДВ φ . В этом случае функционал правдоподобия принимает вид [1]:

$$F(\varphi, \Phi) = c_1 \cdot I_0(q(\varphi, \Phi)),$$

где c_1 — коэффициент, состоящий из постоянных параметров [1], $I_0(q(\varphi, \Phi))$ — функция Бесселя нулевого порядка от корреляционного интеграла:

$$q(\varphi, \Phi) = \frac{2}{N_0} \left| \int_0^T x(t) \cdot u(t, \varphi, \Phi) dt \right|,$$

где N_0 — спектральная плотность $n(t)$.

Литература

1. Тихонов В. И. Оптимальный прием сигналов. М.: Радио и связь, 1983.

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

МОНИТОР ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАТЧИКА INVENSENSE MPU-6050

Одним из основных трендов современности является проектирование и использование индивидуальных носимых медицинских электронных приборов, служащих для оценки физической активности людей и повышения качества их жизни.

В настоящей работе рассматривается создание лабораторного прототипа монитора физической активности. Монитор физической активности закрепляется на теле человека и обладает возможностью измерения и отображения таких данных, как: количество шагов, пройденное расстояние в режиме реального времени, а так же распознавание падения пациента. Основой монитора физической активности является датчик InvenSense MPU-6050 [1], содержащий трехосевой акселерометр и трехосевой гироскоп.

Аппаратная часть выполнена на специальной плате, содержащей микроконтроллер AVR Atmega48p, разъемы (для программирования, для подключения жидкокристаллического дисплея, датчика MPU-6050, звукового пьезоизлучателя, модуля Bluetooth HC-06 и питания). Модуль Bluetooth служит для передачи оповещений о падении пациента на мобильный телефон ответственного или подключения GSM-модема.

Программная часть реализована на языке программирования C. Отладка программы выполняется с помощью программатора. Вывод полученных данных производится на дисплей. Также предусмотрена функция введения устройства в режим сна, в котором могут проводиться дальнейшие вычисления без лишних затрат энергии на постоянную работу дисплея. Программно реализована функция, определяющая заряд батареи и отображающая остаток в процентах для простоты восприятия.

Достоинствами разработанного устройства являются доступность его компонентов, открытость программного и аппаратного обеспечения и автономность.

Разработанный стенд может быть использован на кафедре Основ радиотехники НИУ «МЭИ» для проведения лабораторных работ по курсу «Средства съема диагностической информации и подведения лечебных воздействий» для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Биотехнические системы и технологии».

Литература

1. **MPU-6050** | TDK [Электронный ресурс] — URL: <https://www.invensense.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050>.

Н. А. Куковьякина, студ.; рук. Р. С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЙ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ СИСТЕМ ТРЕКИНГА

Виртуальные зоны полного погружения (далее — VR (virtual reality) зоны) — это зоны, в которых в виртуальном пространстве отображается полный скелет пользователей, взаимодействующих с виртуальной средой и друг с другом в реальном времени. Такие VR-зоны дают наиболее яркий опыт взаимодействия с виртуальным миром и являются самым желанным и дорогим сегментом в виртуальной реальности. Основные составляющие VR зон полного погружения: системы трекинга, VR-шлемы, контент и др. Системы трекинга — основная составляющая таких зон. Они предназначены для отслеживания положения тела человека и передачи его координат в виртуальное пространство.

В работе [1] предлагается применять в качестве системы трекинга радиосистему, которая имеет ряд преимуществ перед существующими оптическими и инерциальными системами трекинга. Для корректного отображения пользователя в виртуальной среде необходимо решить проблему зашумленности координат на выходе радиосистемы. Повышение точности достигается за счет применения нелинейного следящего фильтра на базе модели движения тела человека. Основы модели движения для равномерной ходьбы были предложены в работе [1]. Развитие темы позволило придумать и формализовать модель движения всего тела человека. Такая модель движения состоит из 10 точек. Уравнения, описывающие равномерное движение всего тела человека базируются на двухточечной системе, описанной ранее в работе [1]. С помощью пакетов прикладного программирования уравнения были формализованы в анимационный фильм, демонстрирующий перемещения 10 точечной системы в двумерном пространстве. Для создания модели используются усредненные антропометрические данные человека: ограничения, налагаемые на движения в суставах, расстояние между суставными точками, средняя скорость перемещения тела. Визуализация полученных уравнений позволяет оценить адекватность предложенной модели. Дальнейшее развитие паттернов движения человека в совокупности с фильтрацией координат позволит повысить точность радиосистемы. Применение радиосистемы позволяет снизить стоимость VR зон и сделать их доступными для широкого применения не только в развлечениях, но и в медицине и военной сфере.

Литература

1. **Куковьякина Н. А., Куликов Р. С.** Нелинейная фильтрация в системах трекинга // Радиотехника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов XXIII междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2017.

Я. А. Куприянова, асп.; рук. Г. В. Жихарева, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ КАРТ НАРУЖНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ПРИ НАЛИЧИИ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ МИОКАРДА

Целью настоящей работы является моделирование и анализ испытательных электрокардиографических карт наружных потенциалов (КНП), необходимых для разработки и апробации алгоритмов ранней диагностики патологических состояний миокарда.

Принцип моделирования КНП представлен в работе [1]. Моделирование проводится в рамках цилиндрической модели грудной клетки и сферической модели поверхности миокарда. Параметры моделей выбраны среднестатистическими. Результатом моделирования являются КНП в норме и при наличии патологических областей миокарда (участков с задержанным проведением возбуждения различного размера и локализации), а также их высокочастотные низкоамплитудные (ВЧ НА) составляющие, выделенные полосовым фильтром с полосой пропускания [25, 240] Гц.

Для сравнения КНП в норме (ϕ_n) и при наличии патологии (ϕ_n) рассчитывается энергия их разности: $W = \|\phi_n - \phi_n\|$. Результат сравнения для ВЧ НА составляющих КНП при заднебазальной локализации патологии, диаметром 1 см, на фоне ЭКГ представлен на рис. 1. Как видно из рисунка, ВЧ НА составляющие проявляются в конце QRS-комплекса и на ST-сегменте, что согласуется с данными методики ЭКГ ВР [2] и свидетельствует об адекватности моделирования КНП при наличии патологий.

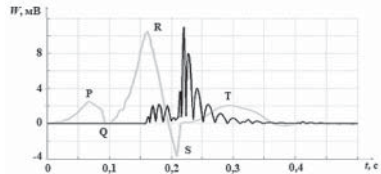


Рис. 1. Сравнение ВЧ НА составляющих КНП в норме и при патологии

Литература

1. Маралкина Е. П., Жихарева Г. В. Моделирование электрокардиографических карт наружных потенциалов с учетом границы «тело-воздух» // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. XXIII МНТК студентов и аспирантов. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2017.
2. Новые методы электрокардиографии / Под ред. С. В. Грачева, Г. Г. Иванова, А. Л. Сыркина. М.: Техносфера, 2007.

В. А. Лепетюха, студ.; рук. Р. С. Куликов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ БЕГА

В системе слежения, рассматриваемой в работе [1], для оптимизации положения пользователя в пространстве используется квазиоптимальный нелинейный фильтр на базе модели движения человека.

В работе [1] была рассмотрена система слежения на базе двух точек. Использование данной системы позволило повысить точность отслеживания координат маркерных точек. Дальнейшим шагом является расширение базы движений человека. Наряду с равномерной ходьбой, одним из распространенным движением является бег.

Бег — это один из способов передвижения человека, имеющий такой же цикл движений, как при ходьбе, задействованы те же группы мышц и те же действующие силы. В отличие от ходьбы при беге отсутствует фаза двойной опоры, появляется «фаза полета», увеличивается динамика, амплитуда и частота движения человека [2]. Пример модели бега представлен на рис. 1 [3].

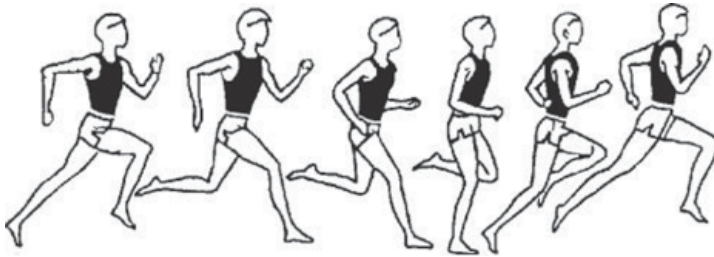


Рис. 1. Модель бега человека

В ходе работы была разработана модель бега нижних конечностей человека. Применение квазиоптимального фильтра в сочетании с моделью движения человека позволит повысить точность отслеживания маркеров для виртуальных зон полного погружения, где в виртуальном пространстве взаимодействует несколько пользователей и при этом полностью отображается их скелет.

Литература

1. **Куковьякина Н. А., Куликов Р. С.** Нелинейная фильтрация в системах трекинга // Радиотехника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов XXIII междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. М.: Издательский дом МЭИ, 2017.
2. Бег. Википедия. Свободная энциклопедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Бег>.
3. Техника бега. Блог тренера КСО «Хорошово». URL: http://horoshevo-o-team.ru/view_post.php?id=2.

М. В. Мартьянова, студ.;
рук. М. К. Седанкин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

НЕЙРОШЛЕМ ДЛЯ ВИЗУЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Цель работы — создание нейрошлема для диагностики заболеваний головного мозга посредством многоканального термомониторинга с помощью микроволновой радиотермометрии.

Нейрошлем состоит из конформной антенной системы, которая обеспечивает прилегание гибких антенн к голове и миниатюрного радиотермометра, соединенного с компьютером (рис. 1).

Выполнены теоретические исследования по методологии [1, 2]. Проведена конструкторская разработка изделия. Выбраны наиболее технологичные варианты конструкции, соответствующие требованиям, предъявляемым к медицинским изделиям. Разработаны составные части нейрошлема. Основные достигнутые технические параметры продукта: диапазон измерений температуры — 30–43°C; погрешность — $\pm 0,3^\circ\text{C}$; полоса частот — 3400–4200 МГц; время измерения в каждом канале — 5 сек; питание от постоянного напряжения — 5 В; общий диаметр антенны — 25 мм; вес антенны — 7 г, вес всего нейрошлема — 0,18 кг; длина коаксиального кабеля каждой антенны — 200 мм.

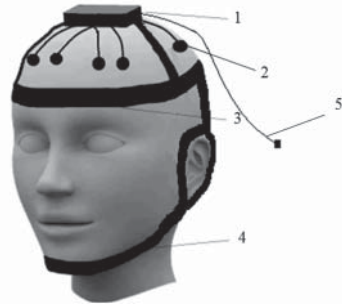


Рис. 1. Общая компоновка нейрошлема: 1 — миниатюрный радиотермометр; 2 — антенна; 3 — текстильный каркас; 4 — подбородник каркаса; 5 — USB-кабель

Литература

1. **Веснин С. Г., Седанкин М. К., Пашкова Н. А.** Математическое моделирование собственного излучения головного мозга человека в микроволновом диапазоне // Биомедицинская радиоэлектроника. 2015. № 3. С. 17–32.
2. **Веснин С. Г., Седанкин М. К.** Сравнение микроволновых антенн-аппликаторов медицинского назначения // Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. № 10. С. 063–074.

*С. И. Мещерякова, А. Е. Семин, студенты;
рук. М. А. Сидорова, к.т.н., доц. (ПензГТУ, Пенза)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛА КРОВООБРАЩЕНИЯ

Представленный материал демонстрирует возможности практического применения математической лаборатории инженера, Matlab (Simulink), на примере моделирования цикла кровообращения.

Кровообращение — важный фактор в жизнедеятельности организма человека. Лишь находясь в постоянном движении, кровь может выполнять свои разнообразные функции [1].

Моделирование структур человеческого организма является современным инструментом для создания автоматизированных средств диагностики [2].

Цель работы заключалась в создании схемы, имитирующей процедуру предварительной оценки состояния сердечно-сосудистой системы пациента по значению длительности цикла кровообращения. Схема представлена на рис. 1. Цикл кровообращения в норме равен 26 секундам. Если у пациента наблюдаются некоторые отклонения в работе сердечно-сосудистой системы, то длительность цикла кровообращения составляет более 26 секунд. Сердцу необходимо совершать больше сокращений для перекачки необходимого объема крови, чтобы завершить цикл кровообращения. Скрининговая оценка состояния сердечно-сосудистой системы проводится путем сравнения длительностей циклов в норме и при наличии патологии.

Разработанная Simulink-схема может быть использована в учебном процессе студентами медико-технических направлений для подготовки лабораторных работ по моделированию физиологических систем.

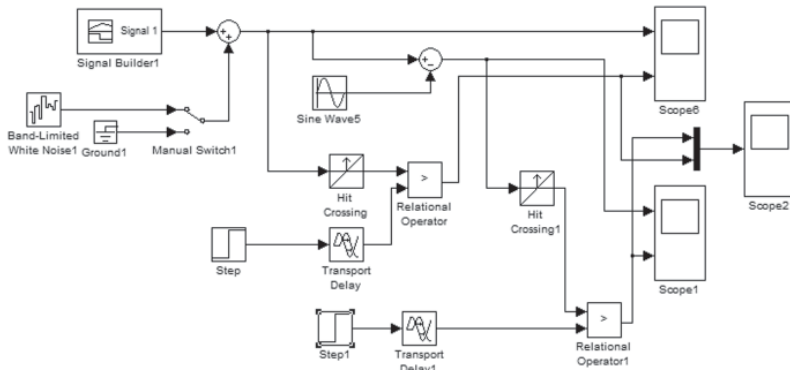


Рис. 1. Simulink-схема цикла кровообращения

Литература

1. **Каро К.** Механика кровообращения / К. Каро и др. — М.: Мир, 1981.
2. **Сидорова М. А., Костенков С. Ю.** Особенности имитационного моделирования электрофизиологических сигналов. — СПб.: Изд-во «Политехника», Биотехносфера. Научный журнал, 2014. — № 3.

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

ПУЛЬСОМЕТР НА ОСНОВЕ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO

Развитие современных информационных технологий и микроэлектроники сформировало новое направление медицинских устройств — так называемой носимой электроники. Известно, что пульс человека является достаточно информативным и легко измеряемым параметром.

Большинство современных носимых медицинских устройств измеряет пульс оптическим методом. Однако такие приборы характеризуются закрытым характером разработки аппаратного и программного обеспечения.

В настоящей работе рассматривается создание пульсометра в качестве лабораторного стенда с возможностью регистрации и отображения пульса в режиме реального времени.

Разработанный пульсометр выполнен в виде автономного устройства на платформе Arduino на базе микроконтроллера AVR Atmega328P с использованием оптического датчика пульса SparkFun SEN-11574 [1], жидкокристаллического дисплея и источника питания.

Программная часть реализована в свободно распространяемой среде разработки Arduino. Вывод временной зависимости сигнала пульса и основных параметров сердечного ритма осуществляется на дисплей устройства.

В дальнейшем планируется выполнить подключение к платформе Arduino модуля беспроводной связи Bluetooth для передачи и обработки данных на персональном компьютере, планшетном компьютере или мобильном телефоне.

Настоящий проект характеризуется относительной дешевизной и доступностью составляющих компонентов, простотой сборки, открытым программным и аппаратным обеспечением.

Разработанный стенд может быть использован на кафедре Основ радиотехники НИУ «МЭИ» для проведения лабораторных работ по курсу «Средства съема диагностической информации и подведения лечебных воздействий» для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Биотехнические системы и технологии».

Литература

1. **Pulse Sensor — SEN-11574 — SparkFun Electronics** [Электронный ресурс] — URL: <https://www.sparkfun.com/products/11574>

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

ИНФРАКРАСНЫЙ ТЕРМОМЕТР НА ОСНОВЕ ДАТЧИКА MELEXIS MLX90614

В настоящей работе разрабатывается лабораторный стенд для измерения температуры бесконтактным способом с помощью инфракрасного датчика Melexis MLX90614 [1] в учебных целях.

Аппаратная часть выполнена на специальной плате, разработанной в ходе работы над стендом. Плата содержит следующие элементы: микроконтроллер AVR Atmega48p, разъемы (для программирования, для подключения жидкокристаллического дисплея, датчика и питания), кнопки, резисторы, диод и конденсаторы. Основная часть работы с устройством заключается в последующем программировании.

Программная часть реализована на языке программирования C++. Отладка программы выполняется с помощью программатора. Вывод информации осуществляется на дисплей. Устройство имеет несколько режимов работы: непрерывное снятие температуры, вывод остаточного уровня заряда батареи, перерасчет температуры в Кельвины и Фаренгейты, запоминание максимальных и минимальных значений, так же предусмотрен спящий режим. Устройство полностью автономное и питается от трех батареек.

В дальнейшем планируется доработать плату, а именно добавить динамик, и Bluetooth модуль для передачи информации с устройства на персональный компьютер, смартфон или планшетный компьютер для последующей обработки информации с возможностью построения температурных карт.

Достоинствами разработанного устройства являются следующие: доступность компонентов, открытость программного и аппаратного обеспечения, высокая точность измерения, обусловленная использованием инфракрасного датчика и автономность.

Разработанный стенд может быть использован на кафедре Основ радиотехники НИУ «МЭИ» для проведения лабораторных работ по курсу «Средства съема диагностической информации и подведения лечебных воздействий» для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Биотехнические системы и технологии».

Литература

1. **Digital Non-Contact Infrared Thermometer (MLX90614) #Melexis** [Электронный ресурс] — URL: <https://www.melexis.com/en/product/MLX90614/Digital-Plug-Play-Infrared-Thermometer-TO-Can>

А. С. Шипаева, В. А. Подмосковная, Л. С. Иванова, студенты (НИУ «МЭИ»); рук. Д. В. Леонов, н. с. (ГБУЗ «НПЦМР ДЗМ», Москва)

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗЛИЧЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИ НЕЗАВИСИМЫХ КОМПОНЕНТ ЭХОСИГНАЛА

Согласно современной модели [1], в сигнале может наблюдаться суперпозиция компоненты кровотока, компоненты отражения от тканей, компонент, описывающих отражения от аномалий физической плотности [2], и шумов. В медицине под аномалиями физической плотности подразумеваются, например, кальцинаты в мягких тканях и скопления солей с образованием кристаллов в полых органах.

Источником данных являются физические модели: доплеровский фантом, предназначенный для испытаний ультразвуковых диагностических систем, и изготовленные нашей научной группой фантомы с гиперэхогенными объектами.

Сканирование производилось на приборе Сономед-500 московской фирмы Спектрмед. Прибор позволяет снимать данные с входа доплеровского подканала в формате комплексного массива.

Данные обрабатывались на ПК. Рассчитывались энергетические и статистические параметры, используемые в качестве критериев различения сигналов [2].

Составлен алгоритм поиска оптимальных пороговых значений критериев. Поиск осуществляется по максимуму функции правдоподобия.

Исследуются зависимости распределения значений критериев различения от параметров зондирующего сигнала и параметров моделей.

Результаты исследования могут быть использованы при разработке доплеровских режимов современных ультразвуковых диагностических приборов [3] и, в частности, режима обнаружения аномалий физической плотности [1, 2].

Литература

1. **Леонов Д. В., Кульберг Н. С., Громов А. И., Морозов П. С., Ким С. Ю.** Исследование причин возникновения мерцающего артефакта в доплеровских режимах ультразвукового медицинского диагностического устройства // *Акустический журнал*. 2018. Том 64. № 1. С. 100–111.
2. **Кульберг Н. С., Громов А. И., Леонов Д. В., Осипов Л. В., Усанов М. С., Морозов С. П.** Диагностический режим обнаружения кальцинатов и конкрементов при ультразвуковом исследовании // *Радиология — практика*. 2018. № 1 (в печати).
3. **Фин В. А., Леонов Д. В., Гукасов В. М.** Вопросы совместной разработки систем радиовидения и звуковидения // *Медицина и высокие технологии*. 2015. № 1. С. 28–34.

*Е. В. Скулова, Д. Д. Гладкова, студенты;
рук. Т. Н. Позднякова, к.с.х. н., доц. (ПензГТУ, Пенза)*

РАЗРАБОТКА БЕСКОНТАКТНОГО ТЕРМОМЕТРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ БИООБЪЕКТОВ

Измерение температуры биообъектов занимает важное место в медицине. Происходит постоянный поиск путей улучшения существующих средств измерения температуры [1, 2].

Методы и приборы измерения температуры делят на: контактные и бесконтактные. Бесконтактные термометры не требуют большого количества времени на измерения; с их помощью можно измерить температуру спящего пациента; в составе отсутствует ртуть и стекло; им можно измерить температуру детского питания, воздуха, воды или других веществ; можно использовать дома, в школах, детских садах, лечебно-профилактических учреждениях и т. д. [3].

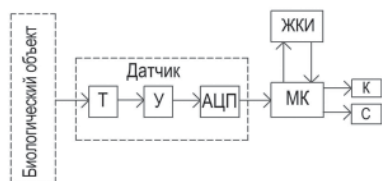


Рис. 1. Структурная схема бесконтактного термометра

Нами была разработана бюджетная модель бесконтактного термометра. Структурная схема прибора приведена на рис. 1.

Микроконтроллер производит опрос датчика температуры, затем измеренная температура выводится на жидкокристаллический экран. Если значение температуры выходит за диапазон 30–50°C, то микроконтроллер формирует предупреждающий сигнал с помощью светодиодов.

Проведенное технико-экономическое обоснование разработки показало, что стоимость сырья и материалов в сумме с покупными комплектующими изделиями составляет 332,79 руб., себестоимость разрабатываемого прибора равна 949,75 руб. Оптовая цена — 1139,7 руб.

Литература

1. **Биколов А. М.** Проверка средств измерения давления и температуры: Учебное пособие. — М.: АСМС, 2005. — 405 с.
2. **Позднякова Т. Н., Трущинская Е. В.** Методы оценки конкурентоспособности медицинской техники // 21 век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2015. Т. 2. № 1 (23). С. 309–315.
3. **Марукович Е. И.** Бесконтактная термометрия / Е. И. Марукович, А. П. Марков, С. С. Сергеев; под общ. ред. Е. И. Маруковича; НАН Беларуси, Ин-т технологии металлов. — Минск: Беларуская навука, 2014. — 252 с.

В. В. Тоболева, студ.; рук. М. Н. Крамм, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Спектральный анализ является одним из наиболее информативных методов оценки сердечного ритма. График спектрограммы отражает распределение мощности в зависимости от частоты колебания [1].

В работе проведена программная реализация расчета и визуализации спектра variability сердечного ритма. Исследуется 8-минутная запись с электрокардиосигнала с частотой дискретизации 2 кГц. Для построения спектрограммы использовалась кубическая интерполяция кардиограммы с сеткой по времени 0,1 с. Для сглаживания спектральной оценки сигнал взвешивался окном Хэмминга. Однако, для повышения устойчивости спектральных оценок целесообразно использовать метод усреднения. Ритмограмма разбивалась на равные отрезки длительностью T (первая серия) и такие же отрезки, расположенные посередине между отрезками первой серии (вторая серия), далее вычислялись спектры для каждого отрезка и усреднялись.

На рис. 1 представлено сравнение спектра, при построении которого сигнал взвешивался окном Хэмминга (слева) и спектр, в котором использовался алгоритм усреднения (справа). В алгоритме усреднения шаг дискретизации увеличивается, но при этом уменьшаются ошибки, вызванные погрешностями оценки спектра.

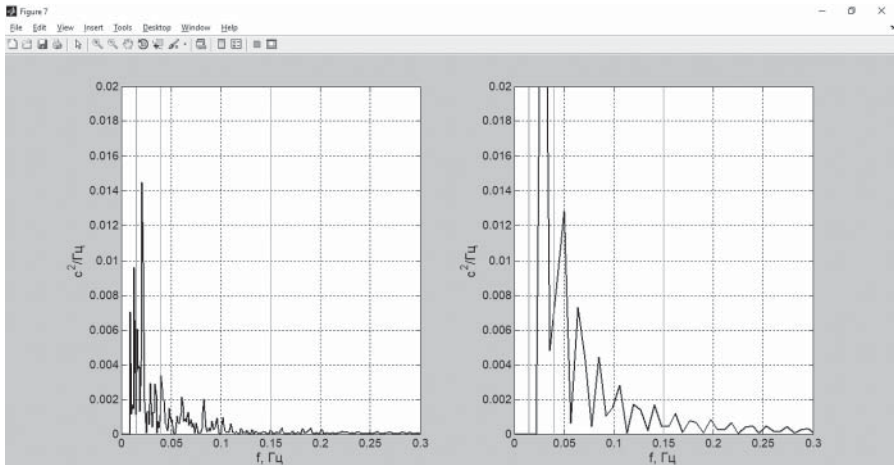


Рис. 1. Сравнение спектра с применением оконной функции и спектра с усреднением

Литература

1. Кузнецов А. А. Биофизика сердца: учеб. пособие. В 2 кн. Кн. 2. Электрокардиографическое холтеровское мониторирование для исследования variability сердечного ритма условно здоровых людей / А. А. Кузнецов; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. — Владимир: Изд-во ВлГУ, 2013. — 84 с.

К. В. Журавлева, студ.;
рук. М. К. Седанкин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ГИБКАЯ АНТЕННА ДЛЯ ПОИСКА ТЕРМОБИОМАРКЕРОВ ЗАБОЛЕВАНИЙ МОЗГА

Диагностика и исследование нарушений мозгового кровообращения является актуальной медико-социальной проблемой. Радиотермометрия позволяет измерять температуру головного мозга на глубине нескольких сантиметров, при этом является неинвазивным и абсолютно безопасным методом, т.к. радиотермометр регистрирует собственное тепловое излучение головного мозга, не оказывая при этом на него негативного влияния.

Печатная антенна для обследования головного мозга является приемным устройством многоканального радиотермометра, поэтому определяет его диагностические возможности. Антенна регистрирует радиояркую температуру в отдельной зоне и передает сигнал в радиотермометр. Для разработки антенны для обследования мозга выполнен расчет ее электрического поля по методологии, описанной в [1, 2]. В качестве объекта исследований выбрана многослойная структура мозга (7 слоев). При расчете антенна устанавливается на модель участка головы с размерами 100 мм × 100 мм × 110 мм с сохранением всех параметров тканей и их распределения по глубине. Электрическое поле рассчитывалось с помощью численных методов, реализованных в программе электродинамического моделирования, которая численно решает уравнение Максвелла методом FDTD. Чтобы выбрать оптимальные геометрические параметры антенны, проведено варьирование размерами антенны с целью оптимизации функциональных характеристик. При оптимизации критериями эффективности являлись характеристики: глубина измерения, КСВ в рабочей полосе и др. На основе математического моделирования определена оптимальная конструкция. В итоге, антенна изготовлена на базе подложки RO3010 (Ø23 мм), находящейся в экранированном корпусе с размерами Ø25×5 [мм].

Литература

1. **Веснин С. Г., Седанкин М. К., Пашкова Н. А.** Математическое моделирование собственного излучения головного мозга человека в микроволновом диапазоне // Биомедицинская радиоэлектроника. 2015. № 3. С. 17–32.
2. **Веснин С. Г., Седанкин М. К.** Сравнение микроволновых антенн-аппликаторов медицинского назначения // Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. № 10. С. 063–074.

К. И. Журавлева, студ.;
рук. Н. А. Сержантова, к.т.н., доц. (ПензГТУ, Пенза)

СИСТЕМА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ДВС-СИНДРОМА

Синдром диссеминированного внутрисосудистого свертывания крови (ДВС-синдром) — одна из патологий системы гемостаза, способная развиваться вследствие травм, инфекций и других причин, и приводить к серьезным последствиям вплоть до летального исхода. Сложность диагностики ДВС-синдрома объясняется необходимостью оценки большого количества параметров, значения которых сильно варьируются в зависимости от стадии заболевания. Для решения задачи качественной и своевременной диагностики ДВС-синдрома разрабатывается система, структура которой представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структура системы определения значений показателей информативности симптомов в Microsoft Excel

Данная система позволяет произвести автоматическую обработку и вычисление данных из ФИБ, и получить общую информацию о вероятностях наличия заболевания и оценке информативности исследуемых параметров и симптомов (по Шеннону, Кульбаку [1]).

Таким образом, разрабатываемая система позволяет получать достоверный предварительный диагноз на основе информативных признаков и симптомов.

Литература

1. Спиридонов И. Н., Самородов А. В. Методы и алгоритмы вычислительной диагностики: Учеб. пособие. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. — 2006. — 51 с.

Ю. Н. Кугук, студ.; рук. В. А. Гречихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СИНТЕЗ УСТРОЙСТВА ОПТИМАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СДВИГА ШТРИХОВОЙ МЕРЫ

Необходимость развития и совершенствования технологий производства, уменьшение размеров изделий микроэлектроники, требование повышения безопасности и качества выпускаемой аппаратуры ведут к созданию новых методов и средств контроля параметров технологического процесса, в частности точности позиционирования различных узлов технологического оборудования. В ряде случаев важно контролировать параметры пространственных перемещений объектов в динамике, например, в процессе виброколебаний или деформаций. Так, аппарат МРТ во время работы производит громкий стук, его причиной служат проходящие через градиентные катушки быстрые импульсы электроэнергии, которые не только изменяют магнитное поле, но и вызывают нежелательные вибрации, контролировать которые необходимо на стадиях разработки и сертификации. Также представленным методом можно проверять медицинские протезы на прочность и деформируемость при нагрузке.

В докладе приведены результаты разработки алгоритмов оптимальной оценки одномерного пространственного сдвига двумерного сигнала штриховой меры при известных и неизвестных неинформационных параметрах сигнала для измерения быстропеременных деформаций с помощью высокоскоростной видеокамеры. Критерий оптимальности — минимальная дисперсия ошибки оценивания.

Суть алгоритмов оценивания сдвига сводится к оценке пространственного положения объекта до деформации и после, оценки получаются путем вычисления взаимной корреляционной функции эталонного и полученного сигнала. Сдвиг находится как разность полученных оценок.

Задача синтеза алгоритма оптимальной оценки одномерного пространственного сдвига двумерного сигнала штриховой меры схожа с задачей синтеза оптимального приемника для определения времени запаздывания радиосигнала. В таком случае оптимальным устройством будет являться корреляционный приемник [1, 2].

В результате представлены и проанализированы отношение сигнал/шум на выходе корреляционного приемника, дисперсия ошибки оценивания.

Литература

1. **Перов А. И.** Статистическая теория радиотехнических систем. М.: Радиотехника, 2003.
2. **Тихонов В. И.** Оптимальный прием сигналов. М.: Радио и связь. 1983.

Л. А. Пилягина, студ.; рук. С. В. Владимиров, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ГЕНЕРАТОР ТЕСТОВОГО СИГНАЛА НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO UNO

Подача тестовых сигналов на медицинскую диагностическую аппаратуру является важнейшей задачей, так как позволяет выполнять калибровку устройства и выявить отклонения в его работе.

В ходе разработки лабораторного стенда «кардиоусилитель» [1] была поставлена задача подачи тестовых сигналов на кардиоусилитель с целью определения его основных характеристик: коэффициента усиления и коэффициента ослабления синфазного сигнала. В качестве тестового сигнала было решено взять калибровочный сигнал CAL20000 из атласа CTS испытательных ЭКГ. Калибровочный сигнал, записанный в текстовый файл, представлен на рис. 1.

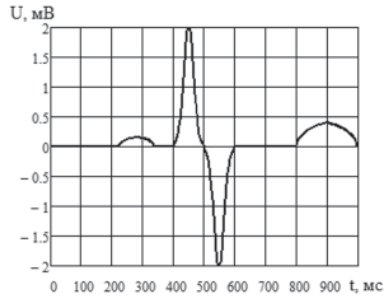


Рис. 1. Калибровочный сигнал CAL20000

Генератор тестового сигнала было решено реализовать на базе платформы Arduino Uno. Платформа считывает сигнал с SD-карты, записанный в виде текстового файла, обрабатывает его, а затем подает на кардиоусилитель с помощью 8-битного цифро-аналогового преобразователя (ЦАП).

В качестве цифроаналогового преобразователя было решено использовать резистивную матрицу R-2R, получившую свое название из-за резисторов, применяемых в схеме (R и 2R). С помощью данного ЦАП можно получить на выходе сигнал с напряжением от 0 до уровня логической единицы (5 В). Выходное напряжение рассчитывается по формуле, где коэффициент A_n определяет, в каком положении находится разряд:

$$U_{\text{ВЫХ}} = U \sum_{n=7}^0 A_n 0.5^{8-n}.$$

Программа, которая считывает сигнал с SD-карты и подает его на 8-ми битный ЦАП, написана в специальной среде разработки Arduino IDE. В данной среде имеется специальная библиотека SD [2], позволяющая считывать загруженные файлы с SD-карты или записывать новые на нее.

Литература

1. **Крамм М. Н.** Методы и приборы биомедицинских исследований. Сборник лабораторных работ. М., Издательский дом МЭИ, 2009
2. **SD Library | Arduino** [Электронный ресурс] URL: <https://www.arduino.cc/en/Main/Education>

Направление

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научный руководитель направления —
директор АВТИ, д.т.н., доцент В.П. Лунин

Секция 13

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Председатель секции — к. т. н., доцент В. С. Зубов

Секретарь секции — к. ф. -м. н., доцент А. Е. Вестфальский

А. Д. Бачурина, студ.; рук-ли. Т. Е. Шадриков, ст. преп.;
А. М. Соколов, д. т. н., доц.; (ИГЭУ, Иваново)

РАЗРАБОТКА S-МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ

В настоящее время ведутся активные теоретические и экспериментальные исследования высоковольтных электротехнических комплексов повышенной частоты (ЭТКПЧ) для систем промышленного электроснабжения. В таких системах применяются полупроводниковые преобразователи напряжения, высоковольтные силовые трансформаторы повышенной частоты и кабельные линии. Для анализа процессов разработана расчетная программа электротехнического комплекса повышенной частоты в среде MATLAB [1].

Применение такой математической модели для расчетов разветвленного ЭТКПЧ усложнено, поскольку увеличение числа ответвлений кабельных линий сопровождается необходимостью доработки программного кода. Эту проблему можно решить путем имитационного блочного моделирования в системе Simulink. Программа Simulink является приложением к пакету MATLAB. При моделировании с использованием Simulink реализуется принцип визуального программирования, в соответствии с которым, пользователь на экране из библиотеки стандартных блоков создает модель устройства и осуществляет расчеты. Пакет SimPowerSystem содержит готовые модели многих компонентов, используемых в электроэнергетических системах. Элементы ЭТКПЧ (блок питания, кабельная линия, трансформатор) имеют некоторые особенности [1], которые стандартные блоки Simulink не позволяют учесть. В связи с этим возникает потребность в разработке специальных блоков и создании пользовательской библиотеки для удобства дальнейшего моделирования сложно-разветвленных ЭТКПЧ.

На данном этапе автором разработаны три варианта блока источника питания, моделирующие выходное переменное несинусоидальное напряжение повышенной частоты, с осциллограммой в виде прямоугольника, трапеции и трапеции с паузой.

Литература

1. Особенности применения частотного анализа при расчете электрических цепей с транзисторными преобразователями напряжения / Т. Е. Шадриков, А. М. Соколов, А. В. Гусенков, В. Д. Лебедев, А. С. Страхов // Электричество. № 1. — 2016. — С. 4–12.

К. Р. Бахтеев, асп.; рук. А. И. Федотов, д.т.н., проф. (КГЭУ, Казань)

СОЗДАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГИБРИДНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ОГРАНИЧЕНИЯ ГЛУБИНЫ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Кратковременные нарушения электроснабжения промышленных (КНЭ) предприятий с непрерывными технологическими циклами производства, сопровождающиеся провалами напряжения (ПН), длительностью от 20 мс приводят к значительному финансовому ущербу у них. ПН возникают из-за КЗ на воздушных линиях в питающих сетях напряжением 110 кВ и выше. Из-за электрических связей между шинами распределительных устройств ПН распространяется на каждую секцию соответствующей главной понизительной подстанции, питающей промышленные предприятия, что делает неэффективной работу классического АВР 6–10 кВ [1]. В связи с этим возрастает интерес к применению накопителей электроэнергии для предотвращения КНЭ. Наличие энергоемких и мощных накопителей в качестве промежуточных устройств между источниками генерации энергии и потребителем позволяет освободиться от жесткого требования ежечасного соответствия генерации энергии ее потреблению [2].

Целью исследования является выбор типа и емкости накопителей энергии, способных выдать суммарную мощность свыше 1 МВт, и обоснование экономической эффективности их применения.

Проведен анализ и выбор накопителей. С помощью метода математического моделирования в программной среде MATLAB и блоков библиотеки Simulink смоделирована схема типового узла системы электроснабжения промышленного потребителя. Разработана имитационная модель аккумуляторной батареи большой мощности (АББМ) и батареи суперконденсаторов (БСК), на базе них смоделирована имитационная модель гибридного накопителя электроэнергии (ГНЭ). Совместное использование АББМ и БСК в качестве ГНЭ может нивелировать недостатки обоих элементов.

Литература

1. **Федотов А. И., Бахтеев К. Р.** Повышение качества электроснабжения промышленных потребителей путем использования накопителей электроэнергии при провалах напряжения // В сборнике: Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем Материалы XII Всероссийской научно-технической конференции. — 2017. — С. 308–311.
2. **CH. AMBEDKER1, G. SATHISH GOUD2, S. RAJESH3** An Integrated Dynamic Voltage Restorer-Ultra Capacitor Design for Improving Power Quality of the Distribution Grid // IEEE Transactions on Sustainable Energy. — 2015. — DOI: 10.1109/TSTE.2015.2402221. — С. 616–624.

А. И. Бондарев, студ.; рук. А. Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ НА ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРАХ В АРИФМЕТИКЕ ПОЛЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕМЬ

С начала 1980-х гг. развиваются технологии параллельных векторных вычислений с применением графических процессоров (GPU), используемых в 3D-графике и достигающих более высокой производительности в сравнении с универсальными процессорами (CPU) [1, 2].

В сочетании с высокоуровневыми языками такими, как C/C++, современные GPU применяются для неграфических расчетов общего назначения. Высокая скорость при параллельных вычислениях достигается за счет большого количества АЛУ и регистров процессора [1].

В данном докладе рассматривается применение указанных технологий для организации параллельных вычислений в классе арифметических методов полей $GF[7^n]$ [3, 4]. На примере операции умножения для больших степеней полиномов произведен сравнительный анализ производительности двух программных реализаций: с использованием GPU и на универсальном процессоре.

В вычислениях использовались алгоритмы, основанные на декомпозиции операции умножения на битовые операции [4]. Коэффициенты полинома кодировались тремя битами в трех вариантах представления в памяти: с упаковкой всех коэффициентов в один целочисленный линейный массив, с отдельной упаковкой по битам в трех целочисленных массивах и с хранением каждого бита в отдельной целочисленной переменной (без упаковки).

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 17-01-00485а.

Литература

1. **Джейсон Сандерс, Эдвард Кэндрот.** Технология CUDA в примерах.
2. **А. В. Боресков.** Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA: Учебное пособие.
3. **Lee E., Lee H.-S., Lee Y.** Fast computation of Tate pairing on general divisors for hyperelliptic curves of genus 3. — Cryptology ePrint Archive, Report 2006/125. <http://eprint.iacr.org/2006/125>.
4. **Болотов А. А., Гашков С. Б., Бурцев А. А., Жебет С. Ю., Фролов А. Б.** О схемной и программной реализации арифметики в конечных полях характеристики 7 для вычисления спариваний. *Фундаментальная и прикладная математика- 3.* — Москва: Центр новых информационных технологий МГУ, стр. 75–111, 2009.

*А. О. Добрынина, студент; В. В. Шумаев, аспирант;
рук. С. В. Рыжков, д. ф.-м.н, профессор, В. В. Кузенов, к.т.н,
доцент (МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва)*

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ И СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ПЕРВОЙ СТЕНКИ И ДИВЕРТОРА ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕРМОПРОЧНОСТНОГО РАСЧЕТА

Пожалуй, самыми теплонапряженными элементами проектируемого международного термоядерного реактора являются дивертор и первая стенка. Во время работы термоядерного реактора при импульсном нагружении различной длительности (к примеру, из-за срыва плазмы) она может испытывать тепловые нагрузки до $5\text{--}20 \text{ МВт/м}^2$ [1–8]. При таких больших тепловых нагрузках на материал первой стенки и дивертора имеют место значительные перепады температур по их толщине, что приводит к возникновению термонапряжений и может спровоцировать их разрушение.

В данной работе для тепловых импульсов различной интенсивности и длительности определены температурные поля и оценены термонапряжения в элементе первой стенки и дивертора плоской и цилиндрической формы. Рассматриваются следующие материалы: графит, бериллий, вольфрам и молибден. Учитывается зависимость коэффициента теплопроводности и теплоемкости данных материалов от температуры.

Литература

1. **Шумаев В. В., Рыжков С. В.** // Молодежный научно-технический вестник. 2012. № 3.
2. **Кузенов В. В., Рыжков С. В., Фролко П. А., Шумаев В. В.** // Труды МАИ. 2015. № 82.
3. **Kuzenov V. V., Ryzhkov S. V., Shumaev V. V.** // High Temperature Material Processes. 2014. V. 18. № 1–2.
4. **Кузенов В. В., Рыжков С. В., Шумаев В. В.** // Прикладная физика. 2014. № 3. С. 22–25.
5. **Shumaev V. V., Kuzenov V. V.** // J. Phys. Conf. Ser. 2017. V. 891. P. 012311.
6. **Kuzenov V. V., Ryzhkov S. V., Shumaev V. V.** // Problems of Atomic Science and Technology. 2015. No. 4 (98). P. 53–56.
7. **Kuzenov V. V., Ryzhkov S. V., Shumaev V. V.** // Problems of Atomic Science and Technology. 2015. No. 1 (95). P. 97–99.
8. **Кузенов В. В., Лебо А. И., Лебо И. Г., Рыжков С. В.** Физико-математические модели и методы расчета воздействия мощных лазерных и плазменных импульсов на конденсированные и газовые среды (2-е изд). М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017.

Э. А. Галимуллин студ.;
рук. О. В. Шевченко ст. препод. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ПОТОКА ВОЗДУХА В АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ АДТ-Т204

В данной работе рассматривается вариант оптимального управления по числу Маха проектируемой аэродинамической трубы (АДТ) АДТ-Т204, используемой для тестирования летательных аппаратов. Задачей данного устройства является создание равномерного потока воздуха в рабочей части (РЧ) [1]. Цифровая система регулирования потока воздуха имеет блок вычисления, цифровой регулятор, тиристорный преобразователь, электропривод и электродвигатель и используется для выхода на режим по давлению воздуха в РЧ АДТ.

Заданное значение давления подается на цифровой П — регулятор, где рассчитывается управляющий сигнал u , который передается на привод вентилятора, задающий необходимое число оборотов. Таким образом регулятор осуществляет функцию:

$$u = \frac{\omega}{k_{пр}} \quad (1)$$

где ω — требуемая скорость вращения вентилятора, $k_{пр}$ — коэффициент усиления привода регулятора [2].

По методике Бухарова [1] были произведены расчеты математической модели АДТ-Т204 в соответствии с вычислениями было выявлено, что управляющий сигнал имеет небольшое время регулирования и выводит вентилятор на режим по скорости вращения аperiодически. В процессе работы снижается точность заданного значения скорости.

Таким образом, система управления скоростью воздушного потока воздуха в РЧ позволяет выполнять запуск, торможение вентилятора и разгонять его до необходимого значения скорости. Недостатком П — регулятора является плохая стабилизация регулируемой величины на заданном значении. Для устранения проблемы планируется использовать дроссели, выравнивающие давление в фор-камере.

Литература

1. **К. Д. Бухаров** Оптимизация по быстродействию системы управления скоростью воздушного потока в дозвуковой аэродинамической трубе // Труды МФТИ. 2016, Том 8 № 4 стр. 141–148.
2. **В. Я. Рогач** Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования // М. «Энергия» 1973 г.

Н. Е. Крымов, студ.; рук. А. А. Амосов, д. ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АППРОКСИМАЦИИ ЗАДАЧИ РАДИАЦИОННО-КОНДУКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В СИСТЕМЕ СТЕРЖНЕЙ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Рассматривается краевая задача, описывающая радиационно-кондуктивный теплообмен в системе металлических стержней круглого сечения:

$$-\operatorname{div}(\lambda \nabla u) = f, \quad x \in G = \bigcup_{i,j} G_{i,j} \quad (1)$$

$$\lambda \frac{\partial u}{\partial n} + h(u) = \int_{\partial G} h(u(\xi)) \varphi(\xi, x) d\sigma(\xi) + \int_{\Gamma} h(u_{\Gamma}(\xi)) \varphi(\xi, x) d\sigma(\xi), \quad x \in \partial G \quad (2)$$

Искомой является абсолютная температура $u(x)$, определенная на объединении сечений стержней G_{ij} радиуса ε (см. рис. 1). Здесь λ — коэффициент теплопроводности, $h(u) = \sigma_0 u^4$ — плотность потока теплового излучения, σ_0 — постоянная Стефана-Больцмана, Γ — граница «коробки», в которой находятся стержни, φ — элементарный угловой коэффициент.

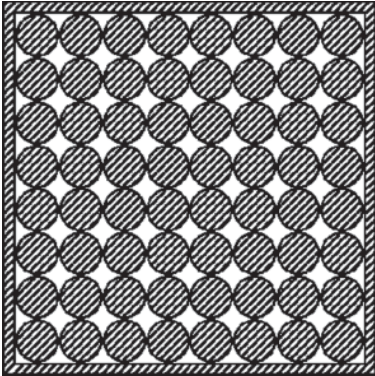


Рис. 1.

Для приближенного решения задачи (1), (2) построены и программно реализованы два новых метода, основанные на специальной аппроксимации тепловых потоков. Первый метод представляет собой дискретную задачу относительно функции H , второй состоит в решении относительно H специальной нелинейной краевой задачи. Здесь, $H(v) = \int_0^v h'(s) \left(1 + \frac{\varepsilon}{\lambda} (2 - \frac{4}{\pi}) h'(s)\right)^{-1} ds$, а $v(x)$ — приближение к $u(x)$.

Проведенные вычислительные эксперименты показывают, что в отличие от предложенных ранее методов [1, 2], новые методы хорошо аппроксимируют задачу

даже при малых значениях коэффициента теплопроводности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-11-00306).

Литература

1. Амосов А. А., Крымов Н. Е. Аппроксимации стационарной задачи радиационно-кондуктивного теплообмена в системе стержней круглого сечения // Вестник МЭИ, 2017. № 5. С. 94–100.
2. Крымов Н. Е. Гомогенизация задачи радиационно-кондуктивного теплообмена в системе стержней круглого сечения // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. XXIII МНТК студентов и аспирантов. Т. 1. М: Издательский дом МЭИ, 2017.

М. Г. Кузин, студент; И. В. Шевченко, ст. препод. (НИУ «МЭИ»)

ФРЕЙМВОРК ДЛЯ НАПИСАНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СРЕДАХ

Отказоустойчивость является одним из желательных свойств высокопроизводительных программных комплексов, функционирующих на современных кластерных аппаратных платформах. Стандартом написания приложений для кластеров является использование библиотеки MPI, но в ней не реализованы механизмы обеспечения отказоустойчивости.

Существует несколько отказоустойчивых систем разработки приложений: комплекс «Пирамида», X-Com, Open-TS, Charm++. Каждая перечисленная система имеет свои недостатки, так как создавалась для решения конкретного круга задач, и имеет отказоустойчивость как дополнительное, а не основное свойство.

Принимая во внимание недостатки существующих систем, был разработан отказоустойчивый фреймворк (программная платформа, определяющая структуру программной системы) на C++ с использованием библиотеки ULFM. Он позволяет разрабатывать отказоустойчивые приложения для кластеров. Фреймворк имеет набор универсальных классов-оберток, на основе которых создаются задачи, которые будут выполняться на рабочих узлах кластера.

В данной работе рассмотрены и реализованы следующие методы обеспечения отказоустойчивости: 1) дублирование главного управляющего узла — в случае отказа главного узла, другой свободный узел возьмет на себя его обязанности; 2) пересылка контрольных сообщений между узлами — через заданные промежутки времени, все узлы обмениваются сообщениями для выявления отказавших узлов; 3) откат незаконченных вычислений — в случае отказа всей системы, выполнения задачи начнется с некоторого контрольного значения сохраненного в контрольной точке; 4) перераспределение задач от неисправных узлов на исправные узлы — в случае отказа узла, его работу берет любой другой свободный узел; 5) контрольные задачи для выявления неисправности оборудования — через заданные промежутки времени на рабочие узлы отправляется контрольная задача с заранее известным ответом; 6) попытка восстановления отказавшего узла — при отказе узла происходит попытка его перезагрузки; 7) механизм глобальной контрольной точки — при получении ответа подзадачи мастером, результат сохраняется в файловую систему в специальный файл контрольной точки.

Фреймворк был протестирован на реальном кластере. Запущенная задача была выполнена до конца с корректной обработкой отказов узлов и коммуникационной сети.

*И. А. Мигаль, студент;
рук. Ю. А. Горицкий, д.т.н, проф. (НИУ «МЭИ»)*

МАРКОВСКИЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ МОДЕЛЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ШЕРОХОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Взаимодействие шероховатых поверхностей наиболее активно рассматривалось в механике и машиностроении в связи с анализом процесса трения. Общая инженерная задача состоит в оценке характеристик трения по исходным данным о микрогеометрии поверхностей, физических свойствах материалов, смазывающего вещества и прочее.

Существуют методы анализа, позволяющие оценивать значения параметров трения. Однако эти методы не позволяют производить оценку значений во времени, а построение детерминированных моделей для решения этой задачи неосуществимо в силу того, что изменение микрорельефа поверхности случайно по пространству и времени. Изменение состояния одного выступа можно считать марковским процессом, если состояния действующих на него выступов другой поверхности являются независимыми случайными величинами.

В данной работе рассматривается модель взаимодействия шероховатых поверхностей, основанная на марковских цепях. За состояние принимается высота выступа. Задача сводится к определению исходного распределения по данным о микрогеометрии поверхности, далее производится пересчет распределений матрицами, зависящими от функций преобразования, которые описывают взаимодействие двух выступов. Затем на основе вычисленных распределений вычисляются оценки характеристик трения. Такой подход позволяет оценивать характеристик взаимодействия во времени.

Литература

1. **Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С.** Основы расчетов на трение и износ. М.: «Машиностроение», 1977.
2. **Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В.** Планирование экспериментов при поиске оптимальных условий. М.: «Наука», 1971.
3. **Чичинадзе А. В., Браун Э. Д., Буше Н. А. и др.** Основы трибологии (трение, износ, смазка). М.: Машиностроение, 2001.
4. **Бражникова Ю. С.** Анализ одного режима марковской модели взаимодействия шероховатых поверхностей // Информационные средства и технологии, Математика и ее приложения: Тр. XXI Междунар. н-т. конф. М.: Издательский дом МЭИ, Москва, 2013. Т. 3.
5. **K. Gavrilov, Y. Goritskiy, I. Migal, M. Izzatulloev.** A Numerical Model for Estimation of Service Life of Tribological Systems of the Piston Engine // Tribology in industry journal. Kragujevac: University of Kragujevac, Vol. 39, No 3, pp 329–333. 2017.

*С. А. Монин, студент;
рук. Е. В. Позняк, к. т. н., доц. (НИУ МЭИ, Москва)*

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ТРИБУН СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА НЕСОГЛАСОВАННЫЕ ДЕЙСТВИЯ ЗРИТЕЛЕЙ

Цель исследования — определение среднего значения и стандарта коэффициента динамичности модели спортивной трибуны при несогласованных действиях зрителей методом статистического моделирования. Действия зрителей моделировались сосредоточенными полусинусоидальными импульсами [1, 2] со случайными амплитудами и фазами, равномерно распределенными на заданном отрезке. За модель спортивной трибуны была принята двутавровая шарнирно-опертая балка. Были проведены следующие серии численных экспериментов:

- 1) Колебания в области за резонансом (низшая собственная частота значительно превышает частоту вынуждающей нагрузки).
- 2) Колебания в резонансном режиме (низшая собственная частота модели совпадает с частотой вынуждающей нагрузки).
- 3) Колебания в случае полностью согласованного движения зрителей (амплитуды одинаковы и фазы равны нулю).
- 4) Колебания при случайных амплитудах и нулевых фазах.

Решение было найдено методом конечных элементов в программном комплексе Matlab в среде моделирования Simulink. В каждой серии численных экспериментов 1) и 2) было получено по 10 реализаций перемещений центрального сечения балки, а также статический прогиб от веса зрителей со случайными массами. При обработке результатов были рассчитаны средние значения и дисперсии: максимальных статического и динамического прогибов в переходном и установившемся режиме, коэффициента динамичности для переходного и установившегося режима, коэффициента рассогласованности. Оказалось, что рассогласованные действия зрителей значительно снижают динамическую реакцию трибуны (до 60%).

Литература

1. **Назаров Ю. П.** Динамика спортивных сооружений. М.: Наука, 2014.
2. **Назаров Ю. П., Позняк Е. В.** Теория квазистатического расчета трибун спортивных сооружений на согласованные действия зрителей. Научный вестник строительства и архитектуры. № 1 (45), 2017, с. 100–113.

С. Д. Полякова, студентка;
рук. А. Б. Фролов, д. т. н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)

О РЕАЛИЗАЦИИ НЕИНТЕРАКТИВНОЙ ЗАБЫВАЮЩЕЙ ПЕРЕДАЧИ m ИЗ n СООБЩЕНИЙ

Забывающая передача m из n сообщений — это IT протокол, при котором отправитель посылает получателю n сообщений, из которых последний может прочитать по своему выбору любые m , $m < n$, сообщений таким образом, что отправитель не будет знать, какие именно сообщения он прочитал [1]. При этом обе стороны уверены в соблюдении этого правила. Интерактивный и не интерактивный варианты такого протокола описаны в работе [2]: секретный и открытый ключ получателя строятся по полиномиальной схеме вычисления ключевой информации дробной m/n передачи, когда раскрывается m/n -доля засекреченной информации [3].

Секретный ключ получателя V образуют инъекция $\pi: [m] \rightarrow [n]$ и набор $(x_{\pi(1)}, \dots, x_{\pi(m)})$ группы $F_q^* \subseteq F_p^*$, $p=2q+1$, большого простого порядка q . Открытый ключ образуют n элементов $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ и $m+1$ элемент W_0, W_1, \dots, W_m группы F_p^* , алгебраически связанные с секретным ключом и известным обоим участникам элементом $U \in F_p^*$ с неизвестным им $\log_b U, \langle b \rangle = F_p^*$. Получатель знает дискретные логарифмы по основанию b только для элементов $\beta_{\pi(1)} \dots \beta_{\pi(m)}$ и отправитель может проверить, что дискретные логарифмы по основанию b остальных элементов β_i , $i \notin Im[m]$, получатель не знает. На этом основании передача всех n сообщений организуется с использованием для шифрования и расшифрования каждого из них по Эль Гамалу, но получатель может расшифровать только ранее выбранные m из них. Применение при этом различных секретных ключей позволяет использовать единый рандомизатор, повышая эффективность протокола.

В работе показана возможность реализации рассмотренного протокола с использованием Алгебраического процессора МЭИ и алгебраической библиотеки AAL MPEI в интерактивном и неинтерактивном вариантах. Результаты использованы в лабораторном практикуме по дисциплине Методы защиты информации распознавания образов. И будут применены для неинтерактивной реализации протокола идентификации Шнора [2].

Литература

1. **Yi Mu, Junqi Zhang, Vijay Varadharajan.** m Out of n Oblivious Transfer. In Proceedings of ACISP'2002. P. 395–405.
2. **Фролов А. Б.** Понижение границы неустойчивости неинтерактивных протоколов идентификации. Вестник МЭИ. № 1, 2015. С. 114–120.
3. **Bellare M., Rivest R.L.** Translucent cryptography — An Alternative to Key Escrow, and its Implementation via Fractional Oblivious Transfer. MIT/LCS Technical Report 683, 1990.

Е. П. Попова, студентка;
рук. А. Б. Фролов, д. т. н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)

ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПЕРЕЧИСЛЕНИЯ РЕШЕНИЙ СЛАУ НАД КОНЕЧНЫМ ПОЛЕМ

В алгоритмах дискретного логарифмирования, факторизации и других теоретико-числовых алгоритмах [1,2] имеются этапы поиска решения СЛАУ над конечным полем, обладающего некоторым заданным свойством. Пусть СЛАУ над полем $GF(q)$ приведена к виду с единичной матрицей размером $m \times m$ слева, дополненной некоторой квадратной матрицей размером $m \times (n-m)$ справа. Тогда она имеет не более $q^{(n-m)}$ решений в виде конкатенации двух строк $b_1, \dots, b_m \parallel a_1, \dots, a_{n-m}$ из элементов поля $GF(q)$; первая строка — это линейная комбинация $a_1 c_{m+1} + \dots + a_{n-m} c_n$ столбцов правой части матрицы, вторая строка — коэффициенты этой линейной комбинации.

Предлагается перечислять эти решения таким образом, чтобы правые строки этих решений составляли бы код Грея разрядности $s=n-m$ над полем $GF(q)$. Для этого введено понятие *последовательности Грея над полем $GF(q)$* как последовательности $GS(q)_s = GS(q)_s(0), GS(q)_s(1), GS(q)_s(2), \dots, GS(q)_s(i), \dots, GS(q)_s(q^s-1)$ номеров разрядов кода Грея, изменяемых прибавлением (в поле $GF(q)$) единицы при переходе от i -го элемента этого кода к $(i+1)$ -у. Эту последовательность можно построить по следующему рекуррентному уравнению:

$$GS(q)_1 = 1^{p-1} \text{ (т. е. } q-1 \text{ единица),}$$

$$GS(q)_{i+1} = \{GS(q)_s \parallel i+1\}^{q-1} \parallel GS(q)_s, \quad i=1, \dots, s-1.$$

Пример. $GS(3)_3 = 11211211311211211311211211$.

Изменяя набор коэффициентов a_1, \dots, a_{n-m} и значение b_1, \dots, b_m соответствующей линейной комбинации столбцов по этой последовательности, очередное решение получаем, выполнив только $m+1$ операций сложения в поле $GS(q)$ и n операций для его записи. Повторяя эти действия q^s-1 раз, начиная с тривиального нулевого решения, получим все решения.

В конкретных теоретико-числовых алгоритмах перечисление решений останавливается, если последнее полученное решение обладает заданным свойством. Автором описанный метод использован при реализации алгоритма квадратичного решета целочисленной факторизации.

Литература

1. Глухов, М. М. Введение в теоретико-числовые методы / М. М. Глухов, И. А. Крутлов, А. Б. Пичкур, А. В. Черемушкин: Санкт-Петербург, Москва, Краснодар: Лань, 2011.
2. Коблиц, Н. Курс теории чисел в криптографии. — М: Научное издательство ТВП, 2001.

*Е. П. Попова, студентка;
рук. А. Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)*

О РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА КВАДРАТИЧНОГО РЕШЕТА ЦЕЛОЧИСЛЕННОЙ ФАКТОРИЗАЦИИ

Сложность целочисленной факторизации является гарантией безопасности ряда криптографических систем с открытым ключом [1]. В последней четверти прошлого века в связи с открытием таких систем были созданы субэкспоненциальные алгоритмы целочисленной факторизации, из которых наиболее востребованным оказался метод квадратичного решета К. Померанца [1]. Для факторизации числа n выбирается граница A , создается факторная база, включающая число 2 и все нечетные простые числа p , $p \leq A$, для которых $\left(\frac{n}{p}\right) = 1$. Вычисляются корни $t_1, t_2 = p^{\beta_i} - t_1$, уравнения $t^2 \equiv n \pmod{p^k}$ для $k = 1, 2, \dots$, где β_i — наибольшее из таких чисел k , для которых в области $[\sqrt{n}] + 1 \leq t \leq [\sqrt{n}] + A$ найдется число t со свойством $t^2 \equiv n \pmod{p^{\beta_i}}$. По таким числам t составляется СЛАУ, 50% решений которой обладают свойством, позволяющим найти множитель числа n . Для вычисления квадратных корней по модулю степени нечетного простого числа по алгоритму из [2] создана функция «подъема решения», получаемого по функции извлечения квадратного корня по модулю простого числа библиотеки AAL MPEI. Квадратные корни из числа n , $n \equiv 1 \pmod{8}$, по модулю 2^β вычисляются по алгоритму:

принять $x = 1$;

для $i = 4, \dots, \beta$:

если $x^2 \bmod 2^i \neq n \bmod 2^i$, принять $x = 2^{i-1} - x$;

вернуть $x, 2^{i-1} - x, 2^{i-1} + x, 2^i - x$.

Для упрощения поиска подходящего решения СЛАУ использован алгоритм перечисления решений СЛАУ с использованием последовательности Грея. Функция факторизации включена в алгебраическую библиотеку AAL MPEI.

Литература

1. **Кредалл Р., Померанс К.** Простые числа. Криптографические и вычислительные аспекты. М.: Изд-во «Книжный дом «Либерком». 2011.
2. **Коблиц, Н.** Курс теории чисел в криптографии. — М: Научное издательство ТВП, 2001.

*Н. А. Сергунин магистр; рук. А. М. Захаров доцент,
М. А. Захаров лаборант (ИГЭУ, Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КВАДРОКОПТЕРА

В наше время все большее распространение и применение получают квадрокоптеры и другие беспилотные аппаратные устройства.

Классический квадрокоптер представляет собой крестообразную раму, на концах лучей которой вертикально закреплены моторы (рис. 1).

Воздушные винты, расположенные на диагональных лучах рамы, создают суммарную вертикальную тягу. Управляемый четырьмя разнесенными винтами, квадрокоптер представляет собой нестабильную динамическую систему, которая в силу нелинейности математической модели должна быть стабилизирована сложными управляющими алгоритмами. В работе используется метод, позволяющий при помощи линеаризации уравнений математической модели обратной связью перемещать аппарат в заданную в пространстве точку и поворачиваться на заданный угол вокруг вертикальной оси при минимальных дополнительных допущениях:

Квадрокоптер представляется симметричным шаром с радиусом и массой на расстоянии от центра которого расположены материальные точки с массой

В работе описан вывод математической модели квадрокоптера и на ее основе построен механизм перемещения аппарата по заданной линейной траектории с определенным углом и его стабилизации в заданной точке. Полученные результаты смоделированы в системе MATLAB и приведен пример последовательного передвижения аппарата в пространстве.

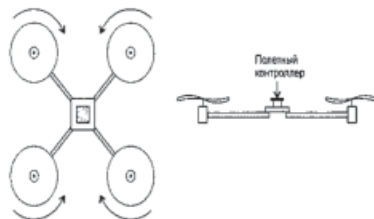


Рис. 1. Схема конструкции простейшего

Литература

1. **Ермолин Н. П.** Электрические машины малой мощности / Н. П. Ермолин-М.: Высш. шк., 1967.
2. **Мартынов А. К.** Экспериментальная аэродинамика. М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1950.

А. В. Тихомирова, студент; рук. Б. С. Ринкевичюс д. ф.-м. н., проф.; консультант А. В. Толкачев к. т. н., с. н. с. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ЛДА В ПРОЗРАЧНЫХ ОПТИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ

Преимущества метода лазерной доплеровской анемометрии (ЛДА) особенно важны при исследовании пограничных слоев потоков жидкости и газа, где традиционные зондовые методы практически неприменимы. При исследованиях методом ЛДА прозрачных оптически однородных сред в основном решены все вопросы, связанные с формированием и определением параметров измерительного объема [1, 2].

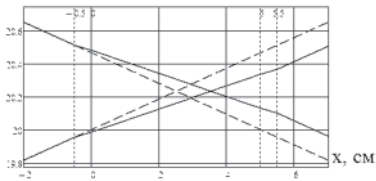


Рис. 1. Траектория лазерных пучков в плоскослойной среде: а) сплошным — с учетом зависимости от значения локального показателя преломления; б) пунктиром — без учета зависимости; стенки канала обозначены пунктирными вертикальными линиями

различных параметров среды, на примере модели потока жидкости в канале с прозрачными стенками.

Однако особый интерес представляет собой проведение исследований методом ЛДА прозрачных оптически неоднородных сред и потоков [3]. Искривление и расфокусировка зондирующих лазерных пучков, вызванная, к примеру, температурным градиентом в исследуемой среде, оказывает существенное влияние на параметры измерительного объема лазерного доплеровского анемометра и приводит к увеличению погрешности измерений скорости потока.

Цель данной работы представить методику расчета погрешности определения периода интерференционной картины для

Литература

1. **Ринкевичюс Б. С.** Лазерная доплеровская анемометрия: монография / Б. С. Ринкевичюс — Москва: Русайнс. 2017. — 160 с.
2. **Дубнищев Ю. Н., Ринкевичюс Б. С.** Методы лазерной доплеровской анемометрии / С предисл. В. А. Фабриканта — М. Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1982. С. 255.
3. **Евтихиева О. А., Расковская И. Л.** Лазерная рефрактография / Под ред. Б. С. Ринкевичюса — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. С 62–64.

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

ОБ УСЛОВИЯХ ВСКРЫТИЯ СХЕМЫ БЛОМА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ

Для сокращения объемов секретной ключевой информации, передаваемой по каналам связи, используются схемы ее предварительного распределения. По схеме Блома [1] доверенный центр формирует симметричный полином степе-

ни $2m-2$

$$f(x, y) = \sum_{i=0}^{m-1} (a_{i,i} x^i y^i + \sum_{j=i+1}^{m-1} a_{i,j} (x^i y^j + x^j y^i))$$

над конечным полем F_p , присваивает пользователям $1, \dots, i, \dots, n$ сети и публикует на авторизированном сервере различные элементы r_i поля F_p . Затем он вычисляет и рассылает пользователям по секретным каналам коэффициенты полиномов $f(x, r_i)$. По ним пользователи i и j вычисляют общий ключ $f(r_j, r_i) = f(r_i, r_j)$. Известно, что при компротации полиномов, принадлежащих m пользователям, могут быть вычислены коэффициенты полинома $f(x, y)$ [2]. В настоящей работе путем компьютерных экспериментов показано, что для вскрытия схемы Блома достаточно знать в совокупности по $m-i+1$ коэффициентов пользователей $1, 2, \dots, i, \dots, m$.

Пример. $p=23$, $m=3$, $r_1=2$, $r_2=3$, $r_3=7$. Пусть коэффициенты полинома $f(x, y)$ суть $(a_{00}, a_{01}, a_{02}, a_{11}, a_{12}, a_{22}) = (22, 2, 19, 9, 16, 11)$. Коэффициенты полиномов пользователей 1, 2 и 3, суть правые элементы строк $\{1, 2, 3\}$, $\{4, 5\}$ и $\{6\}$ матрицы **A**. Решение системы уравнений (матрица **A**), состоит из коэффициентов полинома $f(x, y)$ (правый столбец матрицы **B**):

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1, & 2, & 4, & 0, & 0, & 0, & 10 \\ 0, & 1, & 0, & 2, & 4, & 0, & 15 \\ 0, & 0, & 1, & 0, & 2, & 4, & 3 \\ 1, & 3, & 9, & 0, & 0, & 0, & 15 \\ 0, & 1, & 0, & 3, & 9, & 0, & 12 \\ 0, & 1, & 0, & 7, & 3, & 0, & 21 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{pmatrix} 1, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 22 \\ 0, & 1, & 0, & 0, & 0, & 0, & 2 \\ 0, & 0, & 1, & 0, & 0, & 0, & 19 \\ 0, & 0, & 0, & 1, & 0, & 0, & 9 \\ 0, & 0, & 0, & 0, & 1, & 0, & 16 \\ 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 1, & 11 \end{pmatrix}$$

Литература

1. **Blom R.** Nonpublic key distribution // Advances in Cryptology. — Proceedings of EUROCRYPT'82. Plenum. New York. — 1983. — P. 231–236.
2. **А. П. Алферов.** Основы криптографии // Алферов А. П., Зубов А. Ю., Кузьмин А. С., Черемушкин А. В. — М.: Гелиос АРВ, 2001.

А. К. Воробьев, асп.;
рук. И. А. Зюбин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ВЛИЯНИЯ ВЫТОЧКИ НА ПРОЧНОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

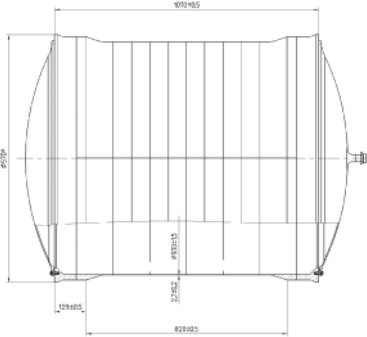


Рис. 1. Гладкая оболочка

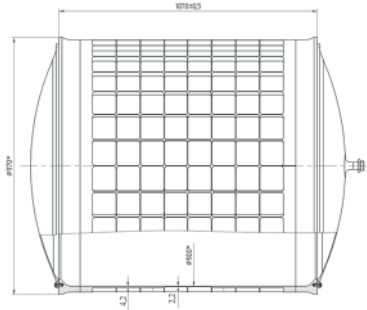


Рис. 2. Оболочка с вафельной структурой

за счет рационального размещения материала подкрепленной стенки и благодаря меньшей чувствительности к конструктивно-геометрическим и технологическим несовершенствам. Малая чувствительность вафельных оболочек к несовершенствам подтверждается небольшим разбросом экспериментальных данных, что указывает на их потенциальную надежность в сравнении с гладкими оболочками.

Тонкостенные оболочечные конструкции широко используются в аэрокосмических аппаратах, объектах транспортного и химического машиностроения, строительных сооружениях, подвергаясь в процессе эксплуатации комбинированному воздействию внешних сил. При достижении некоторого критического уровня нагрузок, гладкие оболочки теряют устойчивость рис. 1.

Стремление получить конструкцию с наименьшей массой и высокими показателями устойчивости, приводит к использованию подкрепленных оболочек, одним из видов которых являются оболочки вафельного типа рис. 2. Для расчета данных оболочек, был выбран программный, конечно-элементный комплекс ANSYS 16.2, с использованием типа элементов SOLID187. После расчета в ANSYS, с целью проверки результатов, в лаборатории были изготовлены экспериментальные оболочки по аналогии с расчетной моделью. Полученные расчеты были подтверждены результатами эксперимента.

Как показывают исследования, их применение обеспечивает снижение массы по сравнению с гладкими оболочками в 1,5–2 раза [1]. Это достигается в основном

Литература

1. Лизин В. Т., Пяткин В. А. Проектирование тонкостенных конструкций. — М.: Машиностроение, 1994, 384 стр.

В. Б. Яцков, студ.;
рук. М. Н. Кирсанов, д. ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЫВОД ФОРМУЛЫ ДЛЯ ПРОГИБА ПЛОСКОЙ ФЕРМЫ В СИСТЕМЕ MAPLE

Ферменные конструкции широко используются в строительстве и машиностроении. В робототехнических устройствах легкие стержневые конструкции применяются в элементах манипуляторов и в корпусах роботов. В [1] методом индукции с привлечением системы компьютерной математики Maple [2] получено аналитическое решение для прогиба простой статически определимой фермы (рис. 1) с произвольным числом панелей. Прогиб определялся по формуле Максвелла–Мора

$$\Delta = P \sum_{i=1}^m S_i^2 l_i / (EF),$$

где S_i — усилия в стержнях от действия единичной нагрузки в центральном узле ($P=1$), l_i — длины стержней, $m=8n-1$ — число стержней, не включая опорные. В настоящей работе получено в виде полинома по n решение для фермы (рис. 2) с горизонтальными связями

$$\Delta EF = P(A_n a^3 + nc^3) / (8b^3), \quad A_n = n(1 + 8n^2) / 3, \quad c = \sqrt{a^2 + 4b^2}$$

Ранее аналогичным методом получены решения для плоских [3–5] и пространственных ферм [6].

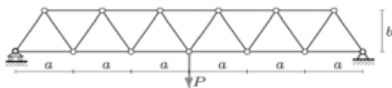


Рис. 1. Треугольная решетка, $n=3$

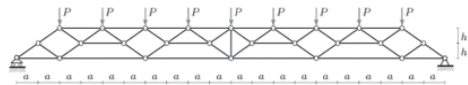


Рис. 1. Шпренгельная ферма

Литература

1. Жакетов Д. Д., Яцков В. Б. Прогиб плоской балочной фермы с треугольной решеткой // Сборник научных трудов. Часть 7. Тамбов: Юком, 2014. С. 34–36.
2. Кирсанов М. Н. Решебник. Теоретическая механика / Под ред. А. И. Кириллова. М.: Физматлит, 2008. 382 с.
3. Кирсанов М. Н., Маслов А. Н. Формулы для расчета прогиба балочной многорешетчатой фермы // Строительная механика и расчет сооружений. 2017. 2 (271). С. 4–10.
4. Кирсанов М. Н. Анализ прогиба арочной фермы // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. № 5.
5. Кирсанов М. Н. Аналитический метод расчета прогиба плоской фермы со сложной решеткой шпренгельного типа // Транспортное строительство. 2017. № 5. С. 11–13.
6. Кирсанов М. Н. Изгиб, кручение и асимптотический анализ пространственной стержневой консоли // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 5 (49). С. 37–43.

Секция 14

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

Председатель секции — зав. каф. ПМ, д.т.н., профессор А.П. Еремеев
Секретарь секции — к.т.н., доцент П.Р. Варшавский

А. О. Афанасьева, студ.;
рук. П. Р. Варшавский, к.т.н., доц. (МЭИ, Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ В СОВРЕМЕННЫХ СУБД

Задача визуализации данных является одной из актуальных задач в области интеллектуального анализа данных (ИАД). Методы визуализации данных направлены на облегчение интерпретации полученных результатов анализа данных, например, за счет построения диаграмм, графиков или когнитивных образов [1].

Существует множество различных методов и алгоритмов визуализации данных, такие как фильтрация, брашинг, слайсинг, применение средств когнитивной графики. Однако в активно применяемых сегодня средствах ИАД для современных СУБД практически отсутствуют развитые средства когнитивной графики для визуализации данных.

Когнитивная графика учитывает психологические особенности человека, правильно подобранный, легко интерпретируемый когнитивный образ способен в значительной степени упростить процесс анализа данных [2].

Разработка когнитивного образа — сложная задача, требующая учета специфики конкретной предметной области и которая сопряжена с необходимостью ориентироваться на субъективное мнение человека-пользователя системы визуализации данных.

Для использования когнитивного образа необходимо установить связь исходных данных (данных из БД) с изменяемыми характеристиками когнитивного образа. Такая связь устанавливается базой решающих правил.

В разработанном программном модуле визуализации данных для СУБД были реализованы методы визуализации данных — брашинг, слайсинг, а также применены средства когнитивной графики. Работа программного модуля была рассмотрена на примере решения задачи визуализации данных в СУБД *Microsoft SQL Server* с использованием фрагмента БД «Студент», разработанной ИВЦ НИУ «МЭИ».

Литература

1. **Финн В. К.** Об интеллектуальном анализе данных // Новости искусственного интеллекта. — 2004. — № 3. — С. 3–19.
2. **Поспелов Д. А.** Когнитивная графика — окно в новый мир // Программные продукты и системы. — 1992. — № 2. — С. 4–6.

Н. П. Алексеев; рук. И. Б. Фоминых, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТВОРЧЕСКИХ ЗАДАЧ

В последние десятилетия много внимания уделяется исследованиям в области искусственного интеллекта (ИИ). Большая часть разработок относится к, так называемым, прикладным системам ИИ, разрабатываемым для решения конкретных вычислительных задач в узкоспециализированных предметных областях. Тем не менее, параллельно с разработкой систем ИИ такого типа, проводятся исследования в области вычислительно-творческих (ВТ) систем. Разработчики ВТ систем ставят своей целью проектирование ИИ, способного решать задачи в областях, которые принято считать исключительно творческими, таких как: музыка, поэзия, живопись и даже кулинария.

В работе [1] произведена попытка вывода общей модели подобных систем на основе анализа множества рабочих прототипов ВТ систем в разных предметных областях, но вопрос проектирования творческого компонента остается не закрытым.

Авторы в [2] отмечают важность использования когнитивного моделирования в оценочных компонентах ВТ систем и приводят пример проектирования компонента, моделирующего когнитивные функции обонятельной системы человека.

Проектирование компонента принятия морально-сложных решений [3] для ВТ систем также представляется интересной задачей, в которой может помочь когнитивных подход.

В данной работе, как и в большей части реализаций подобных компонентов, предлагается использовать искусственные нейронные сети глубокого обучения. Таким образом, развитие принципов нейросетевого моделирования может послужить основой для проектирования современных ВТ систем.

Литература

1. **Dan Ventura** How to Build a CC System // The Eighth International Conference on Computational Creativity (ICCC), Atlanta, GA — С. 253–260.
2. **Varshney L. R., Pinel F., Schorgendorfer A., Chee Y. M.** Cognition as a Part of Computational Creativity // Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Cognitive Informatics and Cognitive Computing. 2013. — С. 36–43.
3. **Conitzer, V., Sinnott-Armstrong, W., Borg, J., Deng, Y. and Kramer, M.** Moral Decision Making Frameworks for Artificial Intelligence // AAAI-17: Thirty-First AAI Conference on Artificial Intelligence. — С. 4831–4835.

Д. М. Амирова студ.; рук. О. Ю. Шамаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССОРЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Одним из направлений повышения производительности процессоров является переход на многоядерные технологии, позволяющие выполнять несколько инструкций параллельно. Однако увеличением количества ядер кратного увеличения скорости не добиться. В настоящее время большая часть ПЭВМ оснащается отдельными видеокартами (GPU), которые позволяют решать трудоемкие вычислительные задачи. Техника использования GPU для решения задач общего назначения получило название GPGPU (General-purpose computing for graphics processing units). Под задачами общего назначения понимаются вычислительные задачи, которые обычно решаются на центральном процессоре.

В докладе рассмотрены преимущества GPU для высокопроизводительных вычислений, а также основные принципы работы на примере технологии CUDA. Рассматривается задача распознавания цифр и приводятся результаты ее распараллеливания на GPU.

Для параллельного функционирования GPU используется большое количество исполнительных блоков, которые легко загрузить, в отличие от последовательного потока инструкций для CPU. Кроме того, современные GPU также могут выполнять больше одной инструкции за такт (dual issue). GPU отличается от CPU и по принципам доступа к памяти. В GPU он связанный и легко предсказуемый, в отличие от универсальных CPU, не нужна кэш-память большого размера. В GPU применяется более быстрая память чем на CPU, что важно для параллельных расчетов, оперирующих с огромными потоками данных. GPU способно обрабатывать нескольких тысяч одновременно исполняющихся потоков, требующих высокой пропускной способности памяти. CPU исполняет 1–2 потока вычислений на одно процессорное ядро, а видеочипы могут поддерживать до 1024 потоков на каждый мультипроцессор, которых в чипе несколько штук. И если переключение с одного потока на другой для CPU стоит сотни тактов, то GPU переключает несколько потоков за один такт [1].

GPU применяют SIMT-модель вычислений (одна инструкция и несколько потоков) для скалярной обработки потоков, которая не требует преобразования данных в векторы и допускает произвольные ветвления в потоках.

Литература

1. **А. В. Боресков и др. Предисл.: В. А. Садовничий** Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA: Учеб. пособие. — М.: Изд-во МГУ, 2012. — 336 с.

*А. А. Анисимов, студ. ;
рук. П. Р. Варшавский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕЦЕДЕНТНОГО МОДУЛЯ НА ОСНОВЕ МЕХАНИЗМА НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

Вывод на основе прецедентов (Case-Based Reasoning, CBR) является подходом, позволяющим решить новую, неизвестную задачу используя или адаптируя решение уже известной задачи, т. е. используя уже накопленный опыт решения подобных задач.

Существует целый ряд методов извлечения прецедентов и их модификаций, такие как метод ближайшего соседа, метод извлечения прецедентов на основе деревьев решений, метод извлечения прецедентов с учетом их применимости (адаптивности) и другие [1].

В работе рассматривается реализация прототипа прецедентной системы на основе нечеткого (fuzzy) вывода [2]. Нечеткие лингвистические переменные применяются как средство для представления нечетких знаний в прецедентах с использованием реляционной модели.

Для определения степени сходства прецедентов с текущей ситуацией предлагается использовать метод извлечения на основе нечеткого вывода. Разработанный алгоритм позволяет работать как с четкими, так и с нечеткими параметрами прецедента и текущей ситуации. Четкие значения могут фаззифицироваться (fuzzification — введение нечеткости) с использованием функций принадлежности, определенных для входных переменных. Для определения степени соответствия между четкими параметрами используется метрика Евклида, а для нечетких мера сходства по Хеммингу.

В рамках данной работы был разработан обобщенный алгоритм извлечения прецедентов, позволяющий работать с четкими и нечеткими значениями параметров, которые используются в описании прецедентов и текущей ситуации.

Программная реализация нечеткого прецедентного модуля и соответствующего алгоритма проведена в среде MS Visual Studio 2017 с использованием языка C# [3].

Литература

1. **Варшавский П. Р., Еремеев А. П.** Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2. С. 45–57.
2. **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.
3. **Уотсон К., Нейгел К., Педерсен Я. Х., Рид Д. Д., Скиннер М.** Visual C# 2010: полный курс.: Пер. с англ. — М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2011. — 960 с.

*А. Н. Апарнев, студент;
рук. О. В. Барتنьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОБУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЧЕЛОВЕКА ПО ФОТОГРАФИИ ЛИЦА

Основными задачами, которые решают биометрические системы идентификации людей, являются верификация (проверка соответствия образца и шаблона), идентификация (поиск возможных подходящих кандидатов) на закрытом множестве и идентификация на открытом множестве [1]. При идентификации человека по фотографии лица прямое сравнение фотографий нерезультативно из-за множества факторов, искажающих данные: разные условия освещения, поворот и положение на фотографии головы, расстояние до камеры и т.д. Поэтому для эффективной работы таких систем сравниваются не сами фотографии, а выделяемые из них признаки сравниваемых объектов. Значительные успехи в распознавании объектов и выделении признаков на изображениях в последнее время достигаются за счет использования сверточных искусственных нейронных сетей (СИНС).

Для ускорения обучения СИНС предлагается новый метод, который является развитием идеи метода из работы [2]. В исходном варианте функция ошибки вычисляется на тройке входных данных: образец некоторой персоны (anchor), образец той же персоны (positive), образец другой персоны (negative).

В работе предлагается использовать множество образцов для множества персон одновременно, а функция ошибки составляется таким образом, что ошибка снижается при повышении схожести отображения образцов каждой персоны и возрастает при пересечении отображений множеств образцов разных персон.

Литература

1. **Тимошенко Д. М.** Методы автоматической идентификации личности по изображениям лиц, полученным в неконтролируемых условиях: Автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.13.18 / Тимошенко Денис Максимович; ПетрГУ — Петрозаводск, 2014. — 16 с.
2. **Schoff F., Kalenichenko D., Philbin J.** FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering // Proc. of 2015 IEEE Conference on CVPR. — Boston, MA, USA, 2015. — ISBN: 978-1-4673-6964-0. — ISSN: 1063-6919. — P. 815–823.

А. А. Борисов, студ.; рук. А. М. Чернецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ БАЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ ЛИНЕЙНОЙ АЛГЕБРЫ НА АРХИТЕКТУРАХ С ОБЩЕЙ ПАМЯТЬЮ

Развитие математики и моделирования приводит к необходимости разработки новых способов решения различных задач вычислительной математики (физики). Матрицы и матричные операции широко используются при математическом моделировании самых разнообразных процессов, явлений и систем [1].

При исследовании некоторых задач возникает потребность в быстрых вычислениях. Все эти задачи составляют из себя последовательность базовых линейных алгебраических операций [2].

При этом могут потребоваться вычисления матриц большого размера, которые могут повлечь за собой проблему («долгие вычисления») при последовательном вычислении. В связи с этим возникает необходимость разработки параллельных алгоритмов вычисления.

Для итоговой реализации было решено рассмотреть хранение матрицы блоками применив блочное распараллеливание с помощью OpenMP [3], а для выполнения базовых линейных алгебраических операций применять пакет ATLAS и фреймворк Accelerate.

Тестирование проводилось на размерах матрицы 1000×1000 до 5000×5000 . Размер блока для удобства являлся квадратной подматрицей размерностью от 2×2 до половины размерности самой матрицы.

При тестировании было выявлено, что с увеличением размера блока, параллельная реализация не приносит должного результата (после определенного «размера блока»), а точнее повторяет результат последовательной реализации.

В дальнейшем планируется рассмотрение гибридной модели OpenMP + MPI с использованием графических процессоров на основе технологии OpenCL.

Литература

1. **Шамаева О. Ю., Чернецов А. М.** Основы параллельного программирования с использованием технологий OpenMP и MPI. Учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — 84 с.
2. **Гергель В. П.** Теория и практика параллельных вычислений. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. — 423 с.
3. **Антонов А. С.** Параллельное программирование с использованием технологии OpenMP: Учебное пособие. — М.: Изд-во МГУ, 2009. — 77 с.

М. В. Черновалова, асп.; рук. М. И. Дли, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКО-ЛОГИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Разработка новых продуктов и технологий происходит в условиях неопределенности, что определяет специфические особенности к системам управления инновациями с реализацией функций контроллинга. К таким особенностям можно отнести наличие существенного влияния характеристик результатов реализации этапов инновационного процесса на последующие этапы [1]. С учетом данной особенности и наличия факторов неопределенности для реализации указанных систем были разработаны две группы алгоритмов. Первая группа учитывает факторы неопределенности на основе применения операций с нечеткими множествами и логико-временных отношений, отражающих степень влияния различных типов событий, воздействующих на инновационный процесс. Это позволяет прогнозировать отклонение наблюдаемых результатов от запланированных на всех этапах процесса. Другая группа алгоритмов является модификацией алгоритма LS (List Scheduling) [2] с использованием нечетких производственных правил для оптимизации длительности инновационных процессов и объемов привлекаемых ресурсов.

На основе предложенных алгоритмов была разработана экспертная система, программный код которой реализован с помощью языка Java 8, а в качестве среды для проектирования и создания базы данных применялась бета-версия СУБД Oracle Database 11g Express Edition. Реализации подключения БД Oracle из Java осуществляется с помощью Hibernate JPA. Интеграция предложенной экспертной системы с используемыми системами в организации возможно благодаря сервис-ориентированной архитектуры, которая полностью поддерживается Oracle и осуществляется по средствам enterprise service bus.

Применение данной экспертной системы позволит повысить эффективность принимаемых решений по управлению инновационными процессами с учетом их основных особенностей, а также точность прогнозных оценок результатов реализации отдельных этапов рассматриваемых процессов в условиях неопределенности.

Литература

1. **Дли М.И., Стоянова О.В.** Информационно-аналитическая система управления производственными проектами машиностроения в условиях неопределенности // Программные продукты и системы. 2015. № 3. С. 49–56.
2. **Лазарев А. А., Гафаров Е. Р.** Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. — М: МГУ, 2011. 222 с.

Н.Г. Ефремова, студ.; рук. О.В. Бартенев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА В ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТРАМВАЕВ

Качество услуг по перевозке пассажиров средствами городского пассажирского транспорта определяется как безопасностью и комфортностью перевозок, так и скоростью доставки пассажиров до места назначения. Применительно к трамваям, скорость движения которых не может быть существенно увеличена, снижение времени перевозок при фиксированном числе трамваев на маршруте достигается за счет оптимизации расписания движения [1]. Один из способов решения этой задачи рассматривается в представляемой работе. Для оптимизации расписания движения трамваев исследуется возможность применения генетического алгоритма. Рассмотрены критерии оптимизации расписания [2].

Задача решается на упрощенной модели, в которой минимизируется среднее время ожидания трамвая пассажирами на остановках маршрута. Реализовано приложение, генерирующее начальное множество расписаний и находящее затем расписание, превосходящее по принятому критерию оптимизации лучшее расписание исходной популяции, то есть расписание с минимальным временем ожидания трамвая пассажирами на остановках [3].

В результате применения генетического алгоритма к популяции из 60 расписаний удалось почти в 3 раза снизить среднее время ожидания трамвая пассажирами на остановках (время ожидания лучшего расписания исходной популяции составило 7 мин. 10 с., а оптимизированного расписания — 2 мин. 43 с.).

Выполненные вычислительные эксперименты позволяют надеяться, что генетический алгоритм будет эффективен и при решении задачи оптимизации расписания на модели, реально отвечающей практике.

Литература

1. **Бартенев О. В., Ефремова Н. Г.** Оптимизация расписания движения трамваев // Ростовский научный журнал. — 2017. — № 7. С. 187–193.
2. Wikipedia. The free encyclopedia. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/genetic_algorithm. — Genetic algorithm. — (Дата обращения: 06.07.2017).
3. **Ефремова Н. Г.** Построение диаграммы прихода пассажиров на остановку [Электронный ресурс] / Н.Г.Ефремова // 100 байт. — 2010. — Режим доступа: <http://100byte.ru/stdntswrks/cshrp/chart.html>. (Дата обращения: 06.07.2017).

Д. А. Грабельникова, студ.;
рук. А. П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ КОГНИТИВНОЙ ГРАФИКИ ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПАТОЛОГИЙ ЗРЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ СЕТЧАТКИ

С целью уменьшения времени, необходимого для восприятия информации, следует обратиться к ассоциативному механизму мышления человека на основе когнитивных образов — *когнитивной графике (КГ)*, под которой понимается совокупность приемов и методов образного представления задачи, которое позволяет либо сразу увидеть решение, либо получить подсказку для его нахождения [1]. Методы КГ в последнее время находят применение в самых различных областях знаний, где требуется визуализация образов для лучшего восприятия и понимания происходящих процессов. Одной из таких областей является медицина и, в частности, офтальмология. Применение средств КГ может облегчить процесс обучения начинающих специалистов, а также оказать ощутимую помощь врачу при постановке диагноза в сложных клинических случаях.

Язык КГ имеет свои собственные ресурсы, характерные именно для него: алфавит (множество символов, используемых для записи), правила синтаксиса (правила записи формул-образов КГ), аксиоматику (базовое подмножество формул-образов) и правила вывода (множество отношений на множестве формул-образов). В разработанном программном продукте установлены соответствия между элементами сетчатки и элементами (образами) языка КГ. Использован комбинированный метод визуализации, заключающийся в изменении размера изображения и его цвета в зависимости от выбранных показателей. Реализация выполнена на объектно-ориентированном языке C# в среде Visual Studio Ultimate в плане совместных исследований кафедры прикладной математики НИУ «МЭИ» и лаборатории физиологии зрения МНИИ глазных болезней им. Гельмгольца по созданию консультирующей экспертной системы по диагностике сложных патологий зрения [2].

Литература

1. **Поспелов Д. А.** Когнитивная графика — окно в новый мир // Программные продукты и системы, 1992. — № 2. С. 4–6.
2. **Еремеев А. П., Хазиев Р. Р., Зуева М. В., Цапенко И. В.** Прототип диагностической системы поддержки принятия решений на основе интеграции байесовских сетей доверия и метода Демпстера–Шефера // Программные продукты и системы, 2013. — № 1. С. 11–16.

*Е. А. Гусаренко студент;
рук. О. Ю. Шамаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ МОДИФИКАЦИИ АЛГОРИТМА АДАПТИВНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ

Вычисление приближенного значения интегралов является распространенной вычислительной задачей. Трудоемкость нахождения достаточно точных значений для некоторых реальных задач порождает необходимость в разработке наиболее эффективных модификаций алгоритмов. Одним из направлений модификации является использование свойства адаптивности, т.е. способности динамически изменять количество точек, в которых необходимо вычислить значение функции для достижения заданной точности. Еще одним направлением является распараллеливание вычислений для различных архитектурных платформ.

В данной работе предложена параллельная модификация алгоритма адаптивного интегрирования, основанного на методе Симпсона [1]:

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{b-a}{6} (f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b)),$$

где $[a, b]$ — отрезок интегрирования, $f(x)$ — подынтегральная функция, $f(a)$, $f(b)$ и $4f((a+b)/2)$ — значения этой функции в соответствующих точках (на концах отрезка и в его середине).

Алгоритм интегрирования рекурсивно разбивает отрезок интегрирования на подотрезки и производит вычисления до тех пор, пока точность вычисления не будет удовлетворять следующему критерию:

$$\frac{|S(a, c) + S(c, b) - S(a, b)|}{15} < \varepsilon$$

где c — середина отрезка интегрирования, $S(a, b)$, $S(a, c)$ и $S(c, b)$ это приближенные суммы, вычисленные по правилу Симпсона, ε — желаемая точность вычислений.

Предложенная параллельная версия алгоритма адаптивного интегрирования реализована для модели общей памяти на языке C++ с применением библиотеки OpenMP [2] и программного комплекса Intel Parallel Studio. Анализ эффективности распараллеливания алгоритма проведен на двух задачах интегрирования с использованием четырехъядерного процессора Intel Core™ i5-6300HQ CPU.

Литература

1. **Амосов А. А., Дубинский Ю. А., Копченова Н. В.** Вычислительные методы для инженеров. Учеб. пособие. — М.: Высш. шк., 1994. — 544 с.
2. **Шамаева О. Ю., Чернецов А. М.** Основы параллельного программирования с использованием технологий OpenMP и MPI. Учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — 84 с.

С. А. Ивлиев, асп.; рук. А. П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОИСК ДАННЫХ ДЛЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ В ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКАХ НА ПРИМЕРЕ МЕДИЦИНСКИХ КОНСУЛЬТАЦИЙ

Сейчас достаточно большой обмен данными идет через сеть Интернет и достаточно часто они являются открытыми для общего доступа. Это, в первую очередь, предмет данного доклада — сайты для консультаций с медицинскими специалистами.

Однако предлагаемый набор методов не ограничивается анализом подобных сайтов и может быть расширен на любое множество, где проходит диалоговый процесс, несущий в себе какую-либо полезную информацию с целью ее извлечения [1].

Первым этапом является анализ структуры информационной системы (сайта, форума, социальной сети, мессенджера) и поиск способов выделения обсуждения определенных тем [2].

Вторым этапом является, собственно, сам сбор информации методами веб-скрапинга и парсинга сайтов [1]. Он заключается в ручном отборе открытых ресурсов, где в режиме вопрос-ответ ведется консультация с медицинским экспертом. После чего на основании этого формируется база данных для последующей работы.

Третьим этапом является извлечение знаний из полученных данных. В данном случае могут использоваться как стандартные методы классификации документов по темам, так и методы кластеризации и классификации с использованием нейронных сетей (Кохонена, SOINN), а также нечетких логик.

Четвертым этапом является анализ полученной базы знаний и совместно с экспертом создание экспертной системы (ЭС), которая будет работать в автономном режиме и получать данные из выбранных источников [3].

В итоге предложен метод сбора и анализа данных, который позволяет создать ЭС на основе информации, содержащейся в открытых источниках.

Литература

1. **Ryan E. Mitchell** Web Scraping with Python // O'Reilly Media, Incorporated, 2015.
2. **Steven Bird, Ewan Klein, Edward Loper** Natural Language Processing with Python // O'Reilly Media. 2009. ISBN 978-0-596-51649-9.
3. **Большакова Е. И. и др.** Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика: учеб. пособие. — М.: МИЭМ, 2011. — 272 с.

Е. П. Кандаурова, студ.; рук. П. Б. Хорев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАСШИРЕНИЕ СРЕДСТВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ANDROID

В современном мире смартфоны и планшеты прочно укрепились в жизни человека. На таких устройствах хранится немало конфиденциальной информации (персональные данные владельца устройства, коммерческая тайна предприятия, на котором он работает, и др.).

Обеспечение информационной безопасности при использовании мобильных устройств основано на многоуровневом подходе к построению системы безопасности. В операционной системе (ОС) устройства должны присутствовать разнообразные средства защиты конфиденциальной информации, позволяющие защитить мобильное устройство от угроз различного рода. Такими средствами могут являться средства разграничения прав доступа приложений к объектам ОС и данным владельца устройства, средства идентификации и аутентификации, криптографические средства, антивирусные программы.

ОС Android считается самой распространенной платформой для мобильных устройств. И хотя на сегодняшний момент эта система обладает достаточно развитыми средствами защиты (как встроенными, так и представленными на рынке), этих средств недостаточно для полноценной защиты устройства от потенциальных угроз. Например, в системе имеются уязвимости, позволяющие получить приложению права суперпользователя, что дает возможность изменять любые настройки и получать доступ к любой информации на устройстве [1].

Исследование заключается в проектировании архитектуры ОС Android с дополнительными средствами обеспечения безопасности устройства, имеющими единый центр управления. Эти средства позволяют более точно ограничивать права устанавливаемых приложений на доступ к различным объектам ОС и владельца устройства. Также имеется возможность шифровать и снабжать электронной подписью передаваемую информацию и подключать дополнительные средства защиты. Примером подключения дополнительного средства является включение разработанной библиотеки, позволяющей проверять минимальную длину и сложность паролей, вводимых пользователем. Задачей работы является анализ дополнительных средств безопасности.

Литература

1. Безопасность Android: взгляд внутрь [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.securitylab.ru>. — SecurityLab.ru by Positive Technologies. — (Дата обращения: 06.11.2017).

И. В. Кочешков, студ.; рук. В. Н. Вагин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ПОИСКА СЛОВ ПО КОНТЕКСТУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА

Используемый в настоящем времени тривиальный метод поиска слов по контексту плохо масштабируемый, а при увеличении числа слов в учитываемом контексте задача становится трудноразрешимой. Альтернативный способ решения данной задачи заключается в использовании нейронных сетей, которые позволяют прогнозировать следующее слово на основе контекстной информации, введенной пользователем.

Перед применением нейронной сети слова необходимо представить в виде, который будет отражать их семантику. Одним из способов такого представления является модель векторного представления данных. В исследовании применялась модель *word2vec*, предложенная Томасом Миколовым [1]. В качестве меры расстояния в данной модели используется косинусная близость векторов d_1 и d_2 , вычисляемая по формуле (1).

$$\text{sim}(d_1, d_2) = \frac{d_1 * d_2}{|d_1||d_2|}, \quad (1)$$

где $|d_1|$ и $|d_2|$ — евклидово расстояние векторов d_1 и d_2 , $d_1 * d_2$ — скалярное произведение векторов.

Эксперименты проводятся с использованием многослойного перцептрона, в котором входной, выходной и три скрытых слоя состоят из 100 нейронов. В качестве алгоритма обучения используется метод обратного распространения ошибки.

В качестве меры, определяющей качество работы метода, выбрана средняя косинусная близость между предсказанным словом и целевым. Средняя косинусная близость тривиального метода равнялась 0.1048 и 0.1237 для обучающих выборок в 500 тыс. слов и 1 млн слов соответственно. Нейросетевой метод улучшил показатель средней косинусной близости до 0.2388 и 0.2879 соответственно. Как видно из результатов эксперимента нейросетевой метод работоспособен и даже улучшает показатели средней косинусной близости.

На данный момент решается задача поиска конфигурации нейронной сети для более точного предсказания слов.

Литература

1. Mikolov T., Sutskever I., Chen K., Corrado G., Dean J. Distributed representations of words and phrases and their compositionality // *Advances in neural information processing systems*. 2013. — pp. 3111–3119.

Д. А. Коньрев, асп.;
рук. А. Г. Шаграв, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УСЕЧЕНИЯ МОДЕЛЬНЫХ ДЕРЕВЬЕВ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАБОТЫ В ЗАДАЧАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПОИСКА

Наиболее популярные на данный момент методы решения задачи классификации объектов основываются на использовании аппарата машинного обучения.

В представленном докладе рассматривается такой класс алгоритмов как модельные деревья решений (*M5* [1], *L-CART* и т. д.). Если точнее, то проводится сравнительный анализ ряда методов усечения модельных деревьев на этапе их построения.

Основная суть методов построения деревьев решений состоит в итеративном разбиении пространства объектов по наиболее информативным признакам. В результате такой процедуры получается бинарное дерево в каждом узле которого располагается информативная закономерность.

Основное отличие модельных деревьев решений состоит в том, что в листьях располагаются не метки классов, а линейные модели, обученные на подмножестве объектов, соотносимых с листом дерева. Результатом столь жадного алгоритма зачастую является построение чрезмерно сложных деревьев, обладающих низкой обобщающей способностью. Алгоритмы усечения (англ. *pruning*) позволяют решать проблему избыточной сложности моделей, путем удаления поддеревьев с плохой разделяющей способностью [2].

В результате поставленного численного эксперимента путем использования различных методов усечения и их модификаций удалось достичь статистически значимого прироста качества на нескольких наборах данных из коллекции *UCI*. Для контроля обобщающей способности моделей используется метод скользящего контроля на десяти непересекающихся блоках с использованием меры *F1* как основной метрики качества работы алгоритмов.

Литература

1. **Quinlan J. R.** Learning with continuous classes // In Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence (AI'92), 1992, pp. 343–348.
2. **Yong Wang and Ian H. Witten** Inducing Model Trees for Continuous Classes // In Proceedings of the 9th European Conference on Machine Learning Poster Papers, 1997, pp. 128–137.

А. В. Кожевников, асп.;
рук. П. Р. Варшавский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ФИЛЬТРАЦИЯ СИГНАЛОВ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО КОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТНОГО ПОДХОДА

В настоящее время для оценки состояния сложных промышленных объектов все чаще используют мониторинг — постоянное наблюдение за техническим состоянием конструкции или агрегата. Как известно, при проведении мониторинга контролируемый объект работает в штатном режиме, а вибрации оборудования и другие внешние факторы создают акустические помехи [1]. Для фильтрации помех была разработана программная подсистема, которая способна выполнять анализ сигналов акустической эмиссии (АЭ) и выявлять помехи, принадлежащие известным классам шумов, с использованием методов на основе прецедентов (*CBR — Case-Based Reasoning*) [2].

Для представления сигналов АЭ в виде прецедента используется четверка $CASE = (MP, MD, OSC, R)$, состоящая из параметров измерения MP , общих характеристик измерения MD , детальных характеристик осциллограммы сигнала OSC и результата R , сообщающего о том, смогла ли система обнаружить прецедент, соответствующий шуму. Заметим, что прецедент не содержит полной информации о сигнале, но в то же время, прецедент хранит в себе информацию, необходимую для экспертной оценки актуальности сигнала, т.е. сведения о графике осциллограммы сигнала и параметрах измерения, но не конкретные данные с датчиков.

Для определения сходства текущего сигнала T с прецедентами C из библиотеки прецедентов (БП) используется метод ближайшего соседа (*NN — Nearest Neighbor*) [2]:

$$Sim(C, T) = 1 - \frac{d_{CT}}{d_{MAX}}$$

где d_{cm} — расстояние между текущим сигналом и сигналом из БП, d_{MAX} — максимальное расстояние в выбранной метрике.

Первоначально формируется начальная БП (обучающая выборка шумовых сигналов). В процессе функционирования и увеличения числа прецедентов (накопления опыта) увеличивается точность идентификации помех различного типа в сигналах, получаемых во время измерений, т.е. растет качество фильтрации шумовых сигналов.

Литература

1. Барат В. А., Алякритский А. Л. Метод статистической обработки данных акустико-эмиссионного мониторинга на примере реактора гидроочистки Мозырского НПЗ // «В мире НК», № 4, 2008, С. 52–55.
2. Варшавский П. Р., Еремеев А. П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2. С. 45–57.

*А. А. Михайлов, студ.;
рук. О. Ю. Шамаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОБРАБОТКА КЛАССА РАЗРЕЖЕННЫХ МАТРИЦ В МОДЕЛИ ВЫЧИСЛЕНИЙ С ОБЩЕЙ ПАМЯТЬЮ

В представленном докладе рассматриваются вопросы обработки класса разреженных матриц в модели общей памяти с помощью разработанного параллельного алгоритма.

Алгебра разреженных матриц (Sparse algebra) [1] является важным разделом математики, имеющим практическое применение. Разреженные матрицы встречаются при постановке и решении задач в различных научных и технических областях, например, при решении оптимизационных задач большой размерности с линейными ограничениями. Такие матрицы формируются при численном решении дифференциальных уравнений в частных производных, а также при обработке графов.

Работа с разреженной матрицей предполагает особые способы доступа к элементам. Для упрощения этой процедуры разработаны специальные форматы хранения: COO (координатный формат), CRS (разреженный строчный формат), RRCO (полный строчный упорядоченный) и другие. В данной работе реализован COO формат.

В качестве тестовой задачи выбрана задача решения СЛАУ с разреженной матрицей коэффициентов методом сопряженных градиентов. Для представления матрицы в работе реализован класс, в основе которого используется координатный формат хранения, выполняющий различные функции работы с матрицами. Предложена параллельная модификация данного метода, которая реализована на двух многоядерных процессорах (4- и 8-ядерном) с применением технологии OpenMP [2].

Полученные в работе результаты программы для различных исходных данных показали, что время выполнения увеличивается при увеличении размерности и разреженности матрицы. Для каждой размерности максимальное ускорение достигается на определенном числе нитей. В частности для матрицы размером 500×500 оптимальное число нитей равно шести, для матрицы 1000×1000 необходимо семь нитей, при дальнейшем увеличении размера оптимальное число нитей увеличивается.

Литература

1. **Писсанецки С.** Технология разреженных матриц. — М.: Мир, 1988. — 410 с.
2. **Шамаева О. Ю., Чернецов А. М.** Основы параллельного программирования с использованием технологий OpenMP и MPI. Учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — 84 с.

И. Е. Никонов, асп.; рук. И. Е. Куриленко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОСТРОЕНИЕ ТЕМПОРАЛЬНОГО РАСШИРЕНИЯ МЕТОДОВ РАССУЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ

В настоящее время задачи проектирования интеллектуальных систем (ИС), в том числе систем поддержки принятия решений реального времени (ИСППР РВ) [1], связаны с актуальной в области искусственного интеллекта (ИИ) проблемой моделирования правдоподобных рассуждений.

Помимо распространенных методов вывода на основе индукции, абдукции и аргументации, широкое применение получили методы на основе прецедентов [2–3].

Принятие решений на основе прецедентов связано с разработкой и исследованием методов представления (моделирования), оценки, хранения и индексации, извлечения и адаптации фактических знаний.

В данной работе рассматривается возможность использования различных алгоритмов для извлечения прецедентов с учетом коэффициентов важности параметров, задаваемых экспертом. В частности предлагается вариант модификации методов извлечения прецедентов на основе деревьев решений для учета фактора времени при помощи подмены «мгновенного» снимка ключевых параметров — историей их изменения. Эта история может быть представлена в виде матрицы значений, составленной на определенный период наблюдения с определенным интервалом.

Таким образом, в прецедент включаются значения параметров не только в текущий момент, но и на некоторый период времени до этого.

При таком представлении атрибутов ситуации, внутренние узлы дерева решений будут представлять собой пару $\langle q, t \rangle$, где q — некоторый атрибут ситуации, а t — некоторый такт времени.

Рассматривается применение данного метода для расширения алгоритма ID3, поскольку он, по сравнению с другими древовидными алгоритмами, может иметь в каждом узле дерева более 2 потомков.

Литература

1. **Вагин В. Н., Еремеев А. П.** Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Известия РАН. Теория и системы управления. 2001, № 6, С. 114–123.
2. **Варшавский П. Р., Еремеев А. П.** Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений, № 2, 2009, С. 45–57.
3. **Еремеев А. П., Куриленко И. Е.** Методы моделирования временных зависимостей в интеллектуальных системах с использованием темпоральных прецедентов // Information Models and Analyses. Vol. 2, 2013, № 4, С. 324–335.

Н. С. Плаксин, студент; рук. Д. А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СВЕРТОЧНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Дрейфующие айсберги представляют угрозу для судоходства в районах Арктики. Для контроля изменения условий окружающей среды и оценки рисков, связанных с айсбергами, используется воздушная разведка. Однако, в отдаленных областях с особенно суровой погодой, наблюдение возможно только с помощью спутников [1].

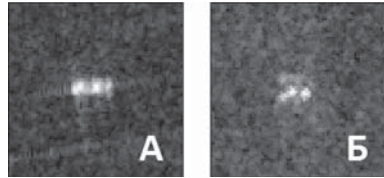


Рис. 1. Корабль (А), айсберг (Б)

Спутник, находящийся на высоте 600 км над Землей, с помощью радара записывает отраженные сигналы и формирует изображения водной поверхности. Твердые объекты, такие как лед и металл кораблей, отражают больше энергии, чем вода, и поэтому выделяются на изображениях (рис. 1) [2].

Айсберги, в отличие от кораблей, представляют собой опасность, поэтому важно их распознавать. Для этого выбраны сверточные нейронные сети (СНС), поскольку в настоящее время они показывают лучшие результаты в области распознавания изображений [3].

Сеть состоит из 7 сверточных слоев и 2 полносвязных. Сверточный слой использует свертку фильтром с ядром 3×3 с выпрямленным линейным элементом в качестве функции активации и операцией max-пулинга. Регуляризация выполняется с помощью прореживания (dropout). Для ускорения обучения используется батч-нормализация. СНС обучается алгоритмом Adam. В дальнейшем планируется уточнить характеристики сети.

Для распознавания айсбергов и кораблей, поставлены подзадачи:

- предварительная обработка изображений;
- построение и обучение многослойной СНС на размеченных данных;
- оценка эффективности разработанного решения.

Для решения поставленных задач выбран язык Python, поскольку для него разработан обширный набор библиотек для работы и анализа массивов данных. Для построения СНС выбрана библиотека TensorFlow, так как содержит удобные инструменты создания и обучения нейронных сетей.

Литература

1. [Электронный ресурс] URL: <https://www.kaggle.com/c/statoil-iceberg-classifier-challenge#description> (дата обращения 07.11.2017).
2. [Электронный ресурс] URL: <https://www.kaggle.com/c/statoil-iceberg-classifier-challenge#Background> (дата обращения 07.11.2017).
3. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. «Imagenet classification with deep convolutional neural networks». Communications of the ACM. 2012. Vol. 60 No. 6. P. 84.

С. А. Поляков, И. Е. Мухачева, Т. О. Блашонков студ.;
рук. П. Р. Варшавский, к. т. н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА БАЗОВЫХ ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ ПРЕЦЕДЕНТНОЙ СИСТЕМЫ

В настоящее время методы рассуждений (поиска решений) на основе прецедентов (*CBR* — *Case-Based Reasoning*) стали активно применяться в таких областях, как машинное обучение, медицинская диагностика, юриспруденция, мониторинг, диагностика технических систем, поиск решения в проблемных ситуациях и др.

CBR является подходом, позволяющим решить новую, неизвестную задачу, используя или адаптируя решение уже известной задачи, т. е. используя уже накопленный опыт решения подобных задач [1].

Как правило, процесс вывода на основе прецедентов включает четыре основных этапа, образующих так называемый цикл рассуждения на основе прецедентов (*CBR*-цикл): **извлечение** из базы прецедентов (БП) наиболее подходящего прецедента (или прецедентов) для сложившейся ситуации; **повторное использование** извлеченного прецедента для попытки решения текущей проблемы; **пересмотр и адаптация** в случае необходимости полученного решения в соответствии с текущей проблемой; **сохранение** вновь принятого решения как части нового прецедента.

Прецедент в общем случае включает описание задачи (проблемной ситуации) и ее решение. В работе используется параметрическое представление прецедентов и БП реализуется на основе реляционной модели представления данных, а для хранения прецедентов в БП используется реляционная база данных.

Для удобства использования прецедентной системы с целью изучения методов машинного обучения и анализа данных было принято решение реализовать ее в качестве веб-приложения.

В результате выполнения работы было создано веб-приложение, реализованное на языке *python* 3.4. с использованием веб-фреймворка *flask* [2]. На данном этапе в веб-приложении реализованы базовые модули, обеспечивающие все этапы *CBR*-цикла и извлечение прецедентов с использованием алгоритма k ближайших соседей (k -*NN*).

Литература

1. Варшавский П. Р., Еремеев А. П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2. С. 45–47.
2. Лутц М. Изучаем Python, 4-е издание. — Пер. с англ. — СПб.: Символ-Плюс, 2011.

Д. А. Шустикова, студ.;
рук. А. П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРОТОТИП СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИЙ ЗРЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА

Перед кафедрой прикладной математики НИУ «МЭИ» специалистами-физиологами из МНИИ глазных болезней имени Гельмгольца была поставлена задача по разработке прототипа интеллектуальной системы диагностики патологий зрения, который помог бы им при определении категории (степени) такой патологии зрения, как диабетическая ретинопатия [1]. Разработчику были предоставлены изображения сетчатки глаза при различных категориях заболевания, а также изображения здоровой сетчатки глаза. Диабетическая ретинопатия — одно из наиболее тяжелых осложнений сахарного диабета, поражающее сосуды сетчатой оболочки глазного яблока, наблюдаемое у 90% пациентов при сахарном диабете. Для выполнения поставленной задачи был использован подход на основе нейронных сетей и изучены искусственные нейронные сети (ИНС), их основные виды, а также методы их обучения.

Для решения поставленной задачи была выбрана архитектура ИНС с чередованием сверточных и субдискретизирующих слоев [2]. Структура ИНС — многослойная и однонаправленная (без обратных связей). Для обучения был использован метод обратного распространения ошибки. Работа сверточной ИНС обычно интерпретируется как переход от конкретных особенностей изображения к более абстрактным деталям и далее к еще более абстрактным вплоть до выделения понятий наиболее высокого уровня [3]. Рассмотрен процесс создания и обучения ИНС с использованием фреймворка для обучения глубоких нейронных сетей PyTorch и языка программирования Python. Была выбрана архитектура сверточной ИНС ResNet-50, с числом слоев — 50. Точность в разработанной модели ИНС составляет — 89%, что является достаточно хорошим результатом. В настоящее время в контакте с физиологами разрабатываются базовые модули прототипа.

Литература

1. **Еремеев А. П., Ивлиев С. А.** Диагностика заболеваний зрения на основе нейронных сетей // Современные технологии в задачах управления, автоматизации обработки информации: Тр. XXIV Междунар. научно-техн. конф. (14–20 сент. 2015 г., Алушта). — М.: Изд. дом МЭИ, 2015, с. 122–123.
2. **В. А. Головкин** Нейронные сети: обучение, организация и применение // под ред. проф. А. И. Галушкина. — М.: ИПРЖР, 2001.
3. **LeCun Y., Bengio Y.** Convolutional Networks for Images, Speech, and Time-Series // The Handbook of Brain Theory and Neural Networks, MIT Press, 1995.

С. В. Закладная, студ.; рук. П. Б. Хорев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ СЕТИ

В современном мире информационные технологии проникают во все сферы жизни и образование не является исключением. Широкое применение в учебном процессе находят различные цифровые ресурсы: от электронных версий учебных пособий до интерактивных обучающих средств. Использование сети Интернет позволяет сделать такие ресурсы доступными и удобными для широкой аудитории [1].

Организация образовательной сети, охватывающей все этапы учебного процесса, подразумевает хранение и обработку большого объема данных, сетевое взаимодействие с многочисленными пользователями, а также коммуникацию внутри самой сети. Все это требует существенных вычислительных мощностей, постоянное содержание которых влечет большие затраты. Альтернативным решением является построение такой системы в облаке. Облачные технологии помимо снижения затрат на оборудование дают большую гибкость и масштабируемость образовательной сети [2].

Преимущества облачной структуры влекут за собой трудности в обеспечении безопасности: защиты персональных данных, аутентификации, разграничении доступа к многочисленным элементам системы и т. д.

Исследование заключается в построении образовательной сети в виде облачного сервиса и создании инфраструктуры на основе двух различных моделей доверия: с использованием удостоверяющих центров и на базе сети доверия [3]. Такого рода инфраструктура внутри обучающего ресурса, использующая асимметричную криптографию и механизм сертификатов открытых ключей, позволяет обеспечить защищенный обмен данными между участниками образовательной сети, гибкое управление учебным процессом и самой сетью за счет разграничения доступа, максимально строгий, прозрачный контроль результатов на всех этапах обучения и многое другое. Варьируя структуру системы, ее можно адаптировать для использования в различных областях образования: среднее и высшее образование, частные школы, онлайн-курсы и многое другое. Задачей работы является сравнительный анализ двух различных моделей доверия.

Литература

1. **Мусин К. С.** Методика создания образовательного портала: учебно-методическое пособие / К. С. Мусин, С. Т. Мухамбетжанова — Алматы, 2010. — 32 с.
2. **Риз Дж.** Облачные вычисления — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 288 с.
3. **Полянская О. Ю., Горбатов В. С.** Инфраструктуры открытых ключей. — М.: Интернет-университет информационных технологий, 2007. — 368 с.

М. И. Желтов, студ.; рук. П. Б. Хорев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ОЦЕНКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ РИСКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

Информационные риски — все риски, связанные с опасностью возникновения убытков или ущерба в результате применения компанией информационных технологий [1].

Стремительное развитие компьютерных технологий влечет за собой появление различных информационных рисков, связанных с их использованием. Создание методов и средств оценки информационных рисков — это актуальная задача, призванная помочь решить проблему безопасности данных.

Веб-приложения стали неотъемлемой частью информационных систем. Безопасность, защита и оценка информационных рисков, связанных с использованием веб-приложений — задача, с которой рано или поздно приходится сталкиваться владельцу любого хоть сколь-нибудь ценного ресурса.

Программные средства анализа уязвимостей веб-приложений предназначены для поиска различных уязвимостей, которые могут привести к возникновению угроз безопасности информации для пользователей таких приложений. Существующие решения, как правило, не имеют системы оценки вероятности реализации угрозы, а также не способны оценить ожидаемые потери, которые могут наступить в случае эксплуатации различных уязвимостей.

Спроектированное программное средство является прототипом сканера веб-приложений, который позволяет выявить уязвимости, а именно просканировать порты веб-приложений и получить качественную оценку информационных рисков. Параметры рисков хранятся в специально разработанной базе данных, которая позволяет специалисту в области информационной безопасности обновлять параметры в соответствии с актуальными угрозами. Данное программное средство может применяться специалистами в области информационной безопасности для аудита веб-приложений и расчета рисков связанных с их использованием.

Развитие программного средства возможно путем добавления модулей, позволяющих выявить такие уязвимости как возможность внедрения SQL-инъекций, XSS и т. д.

Литература

1. **Бочаров С. А., Иванов А. А., Олейников С. Я.** Основы бизнеса. М.: ЕАОИ, 2008. — 447 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ OPENMP ДЛЯ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Дифференциальные уравнения составляют основу математических моделей большого числа различных физических процессов, таких как термодинамические, аэродинамические, электростатические и др. При этом решение этих уравнений — достаточно трудоемкая задача, требующая использования высокопроизводительных архитектур.

В работе исследуется дифференциальное уравнение второго порядка, описывающее теплообмен пластины с окружающей средой [1]:

$$\frac{du(x,y,t)}{dt} = D(x,y) * \left(\frac{d^2u(x,y,t)}{dx^2} + \frac{d^2u(x,y,t)}{dy^2} \right) + \phi(x,y,t,u), \quad (1)$$

где u — температура в точке (x, y) в момент t ; x и y — координаты на пластине; t — момент времени; ϕ — функция подачи/отвода тепла к точке (x, y) в момент времени t при температуре u , D — коэф. теплопроводности в точке (x, y) . Также анализируется уравнение взаимодействия с окружающей средой [1]:

$$\frac{du(x,y,t)}{dt} = a * (u(x,y,t) - T_{\text{среды}}), \quad (2)$$

где a — коэффициент теплообмена с окружающей средой; $T_{\text{среды}}$ — температура окружающей среды.

Разностная схема, применяемая для решения уравнений, имеет вид:

$$\frac{u_{i,j}^{t+1} - u_{i,j}^t}{h_t} = D(x,y) * \left(\frac{u_{i-1,j}^t - 2 * u_{i,j}^t + u_{i+1,j}^t}{h_x^2} + \frac{u_{i,j-1}^t - 2 * u_{i,j}^t + u_{i,j+1}^t}{h_y^2} \right) + \phi(i,j,t,u_{i,j}^t). \quad (3)$$

Для приведенных уравнений предлагаются и исследуются параллельные алгоритмы решения, которые используют явную 5-ти точечную модель с граничными условиями 2-го рода. Предложенные алгоритмы реализованы в модели вычислений с общей памятью на языке C++ с применением библиотек OpenMP и OpenGL [2].

В докладе приводятся основные характеристики реализаций, дается сравнение различных вариантов распараллеливания решения задачи. Для варианта, показавшего наилучшее ускорение, приведены результаты, полученные на 16-ядерном процессоре Xeon E5-2650 v2 2.6 ГГц. Также приведен анализ результатов и показано, что для 16-и ядер удалось достичь ускорения решения задачи в 9 раз по сравнению с одноядерным вариантом.

Литература

1. Амосов А. А., Дубинский Ю. А., Копченова Н. В. Вычислительные методы для инженеров. Учеб. пособие. — М.: Высш. шк., 1994. — 544 с.
2. Шамаева О. Ю., Чернецов А. М. Основы параллельного программирования с использованием технологий OpenMP и MPI. Учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — 84 с.

Л. Е. Зверева, студ.; рук. О. Ю. Шамаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ В МОДЕЛИ С ОБЩЕЙ ПАМЯТЬЮ

Исследования в области естественных вычислительных моделей связаны с построением, анализом и применением методов и моделей, инспирированных разнообразными природными, прежде всего биологическими, системами.

Несмотря на биологическое «происхождение» большинства таких моделей, их область применения в настоящее время чрезвычайно широка, это и моделирование природных процессов, и исследование вычислительных возможностей естественных систем, и решение вычислительных задач, а также разработка новых технологий.

В докладе описываются естественные вычисления в целом, их история, структура и свойства моделей вычислений, подробно анализируется муравьиный алгоритм (Ant Colony Optimization Algorithm или ACO) [1], рассматривается задача поиска оптимального пути в графе как тестовая для применения к ней муравьиного алгоритма.

Разработана параллельная модификация муравьиного алгоритма для модели общей памяти и представлена ее программная реализация на языке C++ с использованием технологии OpenMP [2].

Реализованное приложение протестировано для различных входных параметров: количество муравьев — 50 (неизменно для всех тестов); количество узлов графа — 50, 75, 100, 125; количество нитей — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8. Как результат, был проведен сравнительный анализ параллельной и последовательной версии алгоритма, из которого следует, что параллельная реализация ACO позволяет увеличить его производительность.

В целом можно сделать вывод о целесообразности использования многоядерных архитектур для повышения эффективности решения задачи поиска оптимального пути.

В дальнейшем возможно расширение функциональных возможностей программы и применение ее для более сложных задач, а также реализация данного алгоритма на архитектуре с распределенной памятью.

Литература

1. **Штовба С. Д.** Муравьиные алгоритмы. — Exponenta Pro. Математика в приложениях, 2003. — 70 с.
2. **Шамаева О. Ю., Чернецов А. М.** Основы параллельного программирования с использованием технологий OpenMP и MPI. Учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — 84 с.

*А. Б. Воробьев, асп.; рук-ли И. Б. Фоминых, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»);
С. С. Курбатов, к.т.н. (НИЦЭВТ)*

ОНТОЛОГИИ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИ-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕКСТОВ

Компьютерная интерпретация текстов естественного языка (ЕЯ) включает широкий спектр проблем, краеугольным камнем для решения которых является организация знаний как о собственно языке, так и о предметной области, описываемой ЕЯ-текстом.

В данной работе онтология используется для интерпретации технически-ориентированных текстов в основном математического характера. Цель интерпретации — получить онтологическое представление текста, обеспечивающее генерацию из структур онтологии конкретных формальных структур (программного кода, регулярного выражения, текста доказательства или решения задачи, синтаксических структур ответа).

С этой целью была разработана онтология и алгоритмы интерпретации, а также программно реализован макет для экспериментального исследования разработанной концепции.

Онтология модели состоит из двух частей (структурированной семантической сети и таблиц) и включает знания о языке, об аксиоматике предметной области, а также метазнания эвристического уровня. В онтологическом решателе сделан упор на использование эвристик, представленных в виде онтологических структур [1].

Лингвистическая трансляция в модели использует стандартные алгоритмы лексического и морфологического анализа, оригинальные алгоритмы синтаксического анализа и адаптированную для целей системы концепцию перифразирования [2].

Макет был протестирована в предметной области «школьная геометрия» для автоматического решения задач по планиметрии и продемонстрировал свою работоспособность. Предварительный эксперимент состоял из двух этапов: отображение синтаксических структур в структуры предметной области и последующее моделирование использования этих структур в процессе решения задачи на построение.

Результаты эксперимента продемонстрировали работоспособность макета.

Литература

1. **Курбатов С. С., Воробьев А. Б.** Онтологический решатель геометрических задач по естественно-языковому описанию // КИИ-2016, Смоленск: Универсум, 2016, Т. 1, С. 56–63.
2. **Курбатов С. С. и др.** Программное обеспечение для лингвистически-ориентированного пополнения онтологии // КИИ-2014, Казань: РИЦ Школа, 2014, Т. 3, С. 164–172.

Зеар Аунг, асп.; рук. И. С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ

Интеллектуальный анализ данных (ИАД) — это процесс обнаружения в необработанных данных новых, нетривиальных, интерпретируемых, практически полезных знаний, необходимых для принятия решений в различных сферах человеческой деятельности [1]. Рассмотрим некоторые основные методы ИАД, применяемые для решения задачи классификации.

Наиболее простым подходом является создание деревьев решений. В результате применения этого метода к обучающей выборке создается иерархическая структура классифицирующих правил. Основным достоинством данного метода является наглядность представления правил [2]. Однако, чем больше кустистость дерева, тем меньше обучающих примеров попадает в каждый частный случай. При этом перестает соблюдаться требование статистической обоснованности.

Следующим подходом к решению задач классификации является использование нейронных сетей. Этот подход эффективен в задачах распознавания образов. К его основным недостаткам относятся: необходимость обучающей выборки большого объема и неинтерпретируемость накапливаемых знаний.

Третьим подходом являются системы рассуждений на основе прецедентов. Они осуществляют поиск в базе прецедентов близких аналогов существующей ситуации и выбирают тот же ответ, который был для них правильным [3]. Такие системы показывают очень хорошие результаты в самых разнообразных задачах. Основным их недостатком является произвольный выбор меры «близости» прецедентов.

Каждый из рассмотренных методов ИАД обладает своими достоинствами и недостатками. Поэтому выбор определенного метода зависит от характера конкретной решаемой задачи. В работе предлагается использовать метод рассуждения на основе прецедентов для ИАД в области нефтяной промышленности при классификации режимов работы нефтяных скважин, поскольку данный метод позволит обработать большой объем накопленных экспертами знаний.

Литература

1. **Барсебян А. А.** Анализ данных и процессов: учеб. пособие. — СПб.: БХВ-Петербург, 2009.
2. **Чубукова И. А.** Data Mining.: учеб. пособие. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010.
3. **Петрунин Ю. Ю.** Информационные технологии анализа данных. Data Analysis. — М.: КДУ, 2010.

Секция 15

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И САПР

*Председатель секции — зав. каф. ВТ, д.т.н., профессор В.В. Топорков
Секретарь секции — к.т.н., доцент И.Е. Лешихина*

А. С. Ефимов, студ.; рук. В. А. Логинов, проф., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ БЛОКА ОБРАБОТКИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА НА БАЗЕ ПЛИС

Искусственные спутники Земли играют важную роль в жизни человека, обеспечивая быструю передачу данных на большие расстояния. Обмен информацией осуществляется с помощью антенн, предназначенных для приема и излучения электромагнитных волн (радиоволн). Для улучшения характеристик диаграммы направленности антенны требуется рефлектор, представляющий собой металлический экран. В результате тепловых и механических воздействий форма рефлектора может отклоняться от идеала, что приводит к существенным потерям мощности радиосигнала. Сотрудниками предприятия ОАО «НПП «Геофизика-Космос» ведется разработка специализированного лазерного сканера (СЛС), который позволяет контролировать положение и форму антенного рефлектора. Функция СЛС — измерение углового положения и дальности до контрольных элементов, расположенных на рефлекторе антенны.

Основной задачей, решаемой в данной работе, является составление модели работы блока обработки СЛС на языке описания аппаратуры Verilog с последующей записью в конфигурационную память программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) семейства Spartan-3. В ходе выполнения поставленной задачи автор использовал САПР Xilinx ISE, представляющую собой систему сквозного проектирования, то есть систему, позволяющую реализовать полный цикл разработки цифровых устройств [1]. Благодаря внутренним ресурсам САПР, удалось реализовать программное обеспечение на языке Verilog, моделирующее работу функциональных узлов блока обработки СЛС. С помощью встроенного в среду разработки ISE модуля симуляции ISim (ISE Simulation) произведено тестирование программного кода, в результате которого были получены необходимые временные диаграммы. Использование программатора фирмы Xilinx позволило осуществить запись разработанной программы в конфигурационную память ПЛИС Spartan-3. В перспективе планируется выполнить проектирование функциональных узлов блока обработки на базе отечественной ПЛИС, являющейся прототипом интегральной схемы фирмы Xilinx.

Литература

1. **Зотов В. Ю.** Проектирование цифровых устройств на основе ПЛИС фирмы Xilinx в САПР WebPACK ISE. — М.: Горячая линия — Телеком, 2003. — 624 с.

И. Е. Фокин, студент; рук. Г. Р. Титова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЭС НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Современные объемы информации делают выполнение проектных работ чрезвычайно сложным процессом. Технология BIM (Building Information Modeling) является развитием общепринятой системы автоматизированного проектирования (САПР) и позволяет получить проект жизненного цикла быстрее и за меньшие деньги [1].

Технология информационного моделирования законодательно применена в строительном комплексе, однако в области электроснабжения, является значительно менее развитой [2].

В ходе разработки проекта электроснабжения ремонтно-механического цеха установленной мощностью 1387,6 кВт были выявлены основные возможности существующих BIM-инструментов для системы электроснабжения цеха на напряжении ниже 1 кВ. Информационное моделирование, создает модели в трехмерном пространстве, чертежи и спецификации формируются автоматически, на основе заранее подготовленных шаблонов. Вся информация об объектах системы хранится в модели в виде базы данных, есть возможность оперативно получать информацию об оценочной стоимости проекта. На сегодняшний день данное программное обеспечение способно удовлетворить требования проектировщиков лишь на 40–70% [2].

Основная задача BIM-системы — взаимодействие различных BIM-инструментов между собой на всех этапах жизненного цикла объекта и создание единого BIM-пространства. Использование единого пространства для электроснабжения потребителя, позволяет одновременно различным организациям, участвующим в процессе создания нового или модернизации существующего потребителя, формировать среду создания современных оборудования и материалов, финансовых активов для инвестора, осуществлять подготовку кадров, проектировать, строить, эксплуатировать и утилизировать объекты.

Созданием BIM-пространства занимаются все страны мира. Разработка конкурентоспособного продукта BIM-пространства — это симбиоз отечественных компаний-разработчиков программного обеспечения и науки.

Литература

1. Отчет Результаты исследования эффективности применения BIM-технологии в инвестиционно-строительных проектах российских компаний [Электронный ресурс], — http://nopriz.ru/upload/iblock/2cc/4.7_bim_rf_otchet.pdf.
2. **Ожигин, Д. А.** Анализ текущей ситуации на российском BIM-рынке в области гражданского строительства [Электронный ресурс], — http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=18353.

В. В. Ищук, студ.; рук. И. Е. Лешихина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАДИАЛЬНОЙ ОПАЛУБКИ

При проектировании строительной оснастки для скругленных и криволинейных участков стен используется радиальная опалубка. При вставке такой опалубки в готовый проект, конструктору необходимо изменять ее параметры в зависимости от параметров стены, вдоль которой осуществляется укладка.

В данной работе предложена параметрическая модель радиальной опалубки, в основу разработки которой положено использование математического описания дуги окружности. К параметрам, определяющим параметрическую модель опалубки, относятся: радиус ее кривизны и значение дины хорды. Это объясняется тем, что стена, вдоль которой осуществляется укладка, может быть построена по одному из следующих вариантов: только по опорным точкам — в таком случае длина хорды вычисляется как расстояние между начальной и конечной точками дуги; или по опорным точкам и радиусу кривизны дуги.

Таким образом, при разработке параметрической модели опалубки были рассмотрены возможные варианты ее построения в зависимости от параметров стены: по длине дуги и радиусу кривизны, или по длине дуги и длине хорды.

В зависимости от этих параметров происходит прорисовка радиальной опалубки при вставке ее в чертеж.

В первом случае решение задачи сводится к нахождению следующих величин: α — половина центрального угла, измеренная в радианах; X — длина хорды; H — высота сегмента.

Во втором случае у задачи нет решения, которое можно было бы записать в виде математического выражения. Однако, ее можно решить программным путем, учитывая, что длина хорды связана с синусом угла α [1].

Параметрическая модель опалубки реализована средствами языка AutoLisp и встроена в среду САПР AutoCAD. В процессе решения поставленной задачи была рассмотрена возможность использования для создания опалубки этой конфигурации команды САПР AutoCAD — BLOCK. Выяснилось, что данная команда не позволяет решить проблему вставки радиальной опалубки при изменении необходимых параметров.

Литература

1. **Окулов С.М.** Программирование в алгоритмах. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2002. — 341 с.

А. О. Кулагин, студ.;
рук. А. И. Тихонов, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА ХОЛОСТОГО ХОДА ТРАНСФОРМАТОРОВ ДО 35 КВ

В данной работе рассматривается проблема инженерного расчета потерь и тока холостого хода в трансформаторах до 35 кВ.

В качестве исследуемого объекта используется силовой трехфазный понижающий трансформатор типа ТМГ-1000. Основой для проектирования выступает методика, изложенная в РД 16 317-86 [1], заложенная в основу САПР распределительных трансформаторов, разработанной в ИГЭУ и функционирующей в среде EXCEL в связке с MATLAB. Данная методика дублируется полевыми расчетами с использованием разработанной в ИГЭУ библиотекой конечно-элементного моделирования магнитного поля EMLib, интегрированной в среду Excel.

Подсистема уточненного расчета ХХ автоматически генерирует конечно-элементную модель магнитной системы трансформатора по результатам проектного расчета (рис. 1). Для этого был разработан макрос на языке VBA, который рассчитывает координаты точек, на которые опираются графические примитивы, задает параметры объектов модели и собственно формирует эти объекты, обращаясь к функциям библиотеки EMLib.

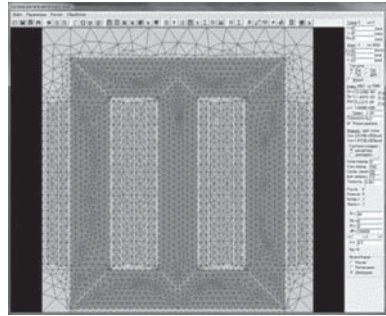


Рис. 1. Конечно-элементная модель

Для учета технологических зазоров в модели формируются фиктивные немагнитные вставки, магнитная проницаемость которых уточняется итерационно путем сравнения рассчитанного на модели тока ХХ с результатами инженерного расчета по РД с последующей калибровкой по результатам приемо-сдаточных испытаний серии изготовленных трансформаторов (в качестве производственной базы взят завод «Трансформер», г. Подольск). Для расчета потерь холостого хода реализуется серия расчетов магнитного поля для различных моментов времени при допущении о синусоидальности тока ХХ. Потери в каждом элементе конечно-элементной сетки рассчитываются по максимальной индукции на периоде.

Литература

1. РД 16 317-86 Трансформаторы силовые. Расчет потерь и тока холостого хода.

А. А. Тинякова, студ.; рук. В. А. Краюшкин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ГРАФИЧЕСКИЙ WEB-ИНТЕРФЕЙС ИОТ-РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА RPi-V3

Сегодня уже невозможно представить себе жизнь без Интернета. Практически каждый человек пользуется Всемирной паутиной ежедневно.

Со временем, помимо людей, к Интернету стали подключаться и, так называемые, «умные вещи» (smart things), устройства, которые без участия человека находят в сети нужную информацию, управляют другими устройствами, накапливают и анализируют полученные данные.

Развитие Интернета вещей требует все больших затрат на встроенное программное обеспечение (ПО), его тестирование и сетевую интеграцию. Классические методы и приемы программирования не смогут обеспечить возрастающие потребности. Решение этой проблемы в IoT — переход от программирования к разработке ПО с максимальным использованием графического интерфейса и сетевых коммуникационных сервисов. При такой разработке ПО для микроконтроллеров «умных» вещей, актуальной является задача, ставшая темой данной работы — разработка графического WEB-интерфейса на основе микроконтроллера (МК) модели RPi-V3.

В ходе работы была создана и применена система отборочных критериев сравнения типовых МК. Система позволила выбрать наиболее подходящий МК — RPi-V3. Для проверки работоспособности графического WEB-интерфейса был также разработан отладочный стенд на основе RPi-V3 с набором датчиков и исполнительных устройств. Работа со стендом с использованием WEB-интерфейса осуществлялась средствами фреймворка WebIOPI и сервиса Weaved. [1] Для автоматического накопления данных были разработаны скрипты, перенаправлявшие данные в файлы для хранения и передачи информации на обработку. В рамках выполненной работы эти файлы распределялись с помощью FTP-клиента FileZilla.

Все программные компоненты полученного решения — пакеты, распространяемые как открытое программное обеспечение и сетевые сервисы, допускающие условно-бесплатное использование, что позволяет рассматривать предложенное решение как основу для развертывания учебной практики на кафедре ВТ по такой востребованной тематике, как «Интернет вещей».

Литература

1. **Петин В. А.** Arduino и Raspberry Pi в проектах Internet of Things. — СПб.: БХВ-Петербург, 2016. — 320 с.

*С. А. Заболотько, К. С. Андреева, студенты;
рук. А. Н. Проценко, к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)*

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ ELCUT ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

В современном мире проектирование сложных технических энергосистем трудно представить без использования средств электронно-вычислительной техники (ЭВМ). Индукционные нагревательные установки (ИНУ) являются мощными электропотребителями с малым соэф. Моделирование этого процесса обеспечит высокую эффективность ИНУ и оптимизацию режима работы электрической сети в целом.

Одной из наиболее доступных программ для расчета электромагнитных и тепловых полей считается ELCUT [1]. Эта программа является одной из немногих в России, пригодных для моделирования ИНУ. Несомненное преимущество ELCUT перед другими аналогичными программами — это наличие большого количества примеров, поставляемых с программой, а также распространяемая бесплатно студенческая версия программы.

Программа ELCUT предназначена для расчета полей различной физической природы, в том числе электромагнитных полей, поэтому она используется для проектирования и оптимизации конструкции и режима работы индукционного нагревателя.

В связи с большим объемом исходных данных для облегчения и ускорения подготовки расчета на основе программы EXCEL создана процедура [2], которая позволяет удобно сформировать пакет исходных данных для расчета. Далее с помощью макросов программа EXCEL управляет работой программы ELCUT, которая в свою очередь строит геометрическую модель и вычисляет магнитное и тепловое поля ИНУ.

Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что программа ELCUT позволяет проводить полноценное моделирование ИНУ, обеспечивая высокую точность и скорость решения задачи оптимизации режима нагрева. Это обеспечивает рациональное энергопотребление и позволяет оптимизировать режим работы электрической сети.

Литература

1. **Клочкова Н. Н., Обухова А. В., Проценко А. Н.** Моделирование двухчастотной проходной индукционной нагревательной установки средствами программного продукта ELCUT // Труды Кольского научного центра российской академии наук. Апатиты: Энергетика, 2012. Выпуск 4.
2. **Кувалдин А. Б., Некрасова Н. С.** Автоматизированный расчет процесса индукционного градиентного нагрева для кабельной промышленности // Промышленный электрообогрев и электроотопление. 2013. № 3.

Секция 16

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ, СЕТИ И СИСТЕМЫ

Председатель секции — д.т.н., профессор Л.И. Абросимов
Секретарь секции — аспирант М.А. Хамраева

*Т. А. Александрова, Н. Г. Бабак, Н. С. Рыженков,
А. М. Тер-Степанова, студенты; рук. С. В. Борисова,
Д. А. Карвовский, к.т.н. проф. А. Ф. Крюков (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ И 3D-МОДЕЛЕЙ ПРИ СОЗДАНИИ ПУТЕВОДИТЕЛЯ ПО НИУ «МЭИ» ДЛЯ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ

Большое число иностранных студентов, обучающихся в НИУ «МЭИ», первое время сталкиваются с недостатком систематизированной информации касающейся повседневной жизни. Например, где ближайший банкомат, аптека, поликлиника, магазин? Где можно перекусить? Где расположены учебные корпуса и т. п. Чтобы облегчить их адаптацию в нашем университете, был разработан справочник для иностранных студентов МЭИ.

Известно, что человек лучше запоминает то, что производит на него впечатление, затрагивает эмоциональную сферу. Для повышения наглядности авторы разработали для справочника приложение, позволяющее в процессе получения информации подключить дополненную реальность (AR). Дополненная реальность представляет собой прямой или косвенный взгляд на физическую среду реального мира, элементы которой дополняются с помощью генерируемого компьютером звука, видео, графики или данных GPS. Дополненная реальность усиливает существующее восприятие реальности, позволяет нам сделать ее богаче. Пользователь может не только прочесть сухой текст, но и увидеть 3D объекты, анимацию, услышать звук, а иногда даже выполнить какое-то задание.

Для создания AR используются разные технологии. В докладе обосновывается выбор инструментов для создания приложения, а именно игрового движка Unity и SDK Vuforia. Для создания 3D-моделей используется мощный 3D-редактор Blender.

Разработанное приложение может быть установлено на смартфон с ОС Android. Более подробно полученные результаты представлены в докладе.

Литература

1. <https://www.autodesk.ru/products/autocad/overview>
2. <https://www.autodesk.ru/products/3ds-max/overview>
3. <https://www.blender.org/>
4. <https://unity3d.com/ru>
5. <https://www.vuforia.com/>

*Ш. Ш. Арутюнян, аспирант;
рук. Л. И. Абросимов дтн., проф. (НИУ МЭИ, Москва)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ GRID-СИСТЕМ

В современном обществе необходимо повышать качество и скорость обработки больших данных [1]. В связи с этим возрастает значение grid-систем (ГС), как средства решения этой проблемы. Особенностью ГС является использование географически распределенных гетерогенных компьютеров, соединенные с помощью сети передачи данных. Одной из основных задач любой ГС является эффективное распределение между его узлами поступающих задач, так чтобы достичь оптимальной загрузки всех ресурсов, при этом соблюдая интересы всех участников вычислений. Пользователей интересует минимизация времени выполнения заданий, владельцев и администраторов минимизация времени простоя вычислительных ресурсов. Существующие планировщики, распределяющие задачи, позволяют соблюдать интересы лишь одной группы участников вычислений или реализованы в виде имитационной модели. Программная реализация ГС не позволяет в полной мере учитывать все латентные задержки, которые в основном наблюдаются на узлах системы при обработке заявок, а главным источником задержек является операционная система.

Таким образом, становится актуальной задача разработки и исследования такой системы оценки эффективности, которая учитывала бы потребности всех участников вычислений, а также использовала бы задержки на уровне операционной системы при расчетах параметров ресурсов.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- исследованы существующие методы планирования вычислений в ГД, по выявленным параметрам выбран базовый метод планирования;
- разработан метод планирования, учитывающий требования пользователей и владельцев систем;
- разработана методика оценки эффективности использования ресурсов ГС.

Полученные результаты позволяют приступить к реализации стенда grid-системы и проведения на нем экспериментов, для выявления эффективности разработанной методики.

Литература

1. **Tsvetkov V. Ya, Lobanov A. A.** Big Data as Information Barrier // European Researcher. 2014. Vol. (78) № 7–1. P. 1237–1242.

*Т. А. Александрова, Н. Г. Бабак, Н. С. Рыженков,
А. М. Тер-Степанова, студенты; рук. С. В. Борисова,
Д. А. Карвовский, к.т.н. проф. А. Ф. Крюков (НИУ «МЭИ»)*

СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ РЕКЛАМНОГО БУКЛЕТА НИУ «МЭИ»

Несколько раз в году для абитуриентов и их родителей МЭИ проводит дни открытых дверей. В такие дни в университетах и институтах можно получить массу интересной и полезной информации. Абитуриенты могут проконсультироваться с представителями руководства и узнать, как проходит учебный процесс, готовятся стенды с брошюрами и буклетами о факультетах. Перед каждым вузом стоит задача чем-то удивить и привлечь будущих студентов. Для <оживления> и увеличения привлекательности рекламных материалов нужно активно использовать новые технологии.

Для решения этой задачи была использована технологии дополненной реальности. Можно привести определение дополненной реальности (augmented reality, AR) как среда с прямым или косвенным дополнением физического мира цифровыми данными в режиме реального времени при помощи компьютерных устройств — планшетов, смартфонов и инновационных гаджетов, а также программного обеспечения к ним [2]. С помощью дополненной реальности можно оживить статичные страницы листовок и буклетов, совершить прогулку по университету, почувствовать себя участником увлекательного приключения.

В результате анализа инструментов для разработки программного обеспечения дополненной реальности, который приведен в докладе, были выбраны SDK Vuforia и игровой движок Unity.

Разработанное приложение было установлено на смартфон с ОС Android. Возможна генерация приложения для IOS. Более подробно полученные результаты представлены в докладе.

Литература

1. <https://unity3d.com/ru>
2. Что такое дополненная реальность? <http://arnext.ru/dopolnennaya-realnost>
3. <https://www.vuforia.com/>

*А. К. Бобков, студент;
рук. Д. А. Карвовский, ст. преп. (НИУ «МЭИ», Москва)*

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОСМОТРА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

Проблема перехода на безбумажный документооборот рассматривается в России с 1991 г. Успешные попытки появились лишь с 2012 г. В службе линий существует проблема: все осмотры ВЛ фиксируются на обычных листах. При этом обязательным условием является перевод бумажного документа в электронный вид. Параллельно визуальному осмотру, производится фотосъемка дефектов. Далее требуется сортировка фотографий на ПК, что является трудоемким процессом. В ходе исследования были применены эмпирические методы. Научный метод наблюдения доказал, что проблема низкоэффективного распределения труда существует. Научный метод сравнения доказал возможность решения проблемы.

В качестве материалов был использован мобильный планшет Lenovo с установленной операционной системой Android. Программный продукт был разработан с помощью интегрированного средства разработки Android Studio с использованием языка Java 8 [1]. В разработки так же использовались документация к Android SDK [2].

В целях повышения эффективности, было разработано мобильное приложение, автоматизирующее процесс осмотра ВЛ. Мобильное приложение включает электронный лист осмотра ВЛ, информационную базу данных текстовой и графической информации.

Используя физическую модель (разработанное мобильное приложение), был проведен эксперимент, по результатам которого было выявлено, что предложенное решение автоматизации сокращает полный процесс осмотра ВЛ на треть и позволяет уменьшить количество человеко-часов.

Литература

1. Пол Дейтел, Харви Дейтел, Александер Уолд. Android для разработчиков. Питер. 2016.
2. Сильвен Ретабоул. Android NDK. Руководство для начинающих. ДМК Пресс 2016.

Д. А. Ершов, студ.; рук. Д. А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ТАЙЛОВОЙ И КЛАСТЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

На текущий момент системы компьютерной визуализации получили широкое распространение, в особенности в системах виртуальной и дополненной реальности, в различных тренажерах и компьютерных играх, где необходимо обрабатывать сложные трехмерные сцены в реальном времени. Одной из важных проблем при такой визуализации является расчет освещенности от большого количества источников света.

Ранее мною были рассмотрены основные методы, позволяющие частично справиться с данной проблемой [1]. Наиболее эффективным из них оказался метод отложенного освещения (deferred shading). Однако при большом количестве источников освещения данный подход не способен обеспечить приемлемую производительность.

Одним из методов, использующихся для эффективной обработки источников света, является тайловая (плиточная) визуализация, которая может применяться как с методом упреждающей визуализации (forward shading), так и с методом отложенного освещения [2].

Принцип тайловой визуализации состоит в группировании пикселей итогового изображения в прямоугольные участки и отсечении источников освещения, не влияющих на освещенность пикселей внутри тайла. Однако для тайлов, пиксели которых существенно отличаются значениями глубины, эффективность отсеечения обрабатываемых источников света существенно снижается. Решением данной проблемы является метод кластерной визуализации [2], который заключается в разбиении трехмерного пространства на определенное количество сегментов, для которых выполняется эффективное отсеечение источников освещения.

Целями данного исследования являются: разработка оптимизированной реализации методов тайловой и кластерной визуализации с использованием библиотеки OpenGL [3] и проведение сравнительного анализа времени на обработку одного кадра и используемой видеопамяти. Для сравнения методов разработан инструментарий визуализации.

Литература

1. **Ершов Д. А., рук. Орлов Д. А.** Исследование и применение методов визуализации сложных трехмерных сцен в реальном времени // Двадцать Третья Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. В 3 т. — М.: Издательский дом МЭИ, 2017. Т. 1, стр. 277.
2. **Olsson O., Billeter M., Assarsson U.** Clustered deferred and forward shading. High Perform. Graph. 2012. С. 1–10.
3. **Sellers G., Wright R., Haemel N.** OpenGL SuperBible, 7th ed., Comprehensive Tutorial and Reference — Addison-Wesley Professional, 2015, 880 pg.

Б. Б. Григорьев, студент; рук. А. Ф. Крюков, к.т.н., доц.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА ERP-СИСТЕМЫ

ERP-система (Enterprise Resource Planning System) — это система планирования ресурсов предприятия, предназначенная для автоматизации учета и управления.

Как правило, до внедрения ERP-системы на предприятии уже эксплуатируются различные учетные системы, как профессиональные, так и собственной разработки в различных конфигурациях. Внедрение ERP-систем подразумевает в том числе трансформацию бизнес-процессов, а архитектура действующих систем основана на бизнес-процессах, актуальных на момент разработки данных систем и не всегда соответствует концепции ERP.

Этап моделирования бизнес-процессов при внедрении ERP-систем необходим для корректного составления требований по доработке внедряемой системы, оценки сроков внедрения, трудоемкости и бюджета проекта. На данном этапе собираются требования будущих пользователей относительно необходимого функционала и составляется модель «как надо». С начала требования модели пытаются максимально покрыть типовым функционалом внедряемого ERP-решения и, если все требования покрыть не удастся, на оставшиеся составляется техническое задание по доработке типового функционала.

Исследование заключается в изучении структуры действующей информационной системы предприятия на основе модели «как есть», формата хранения данных, составлении плана обмена данных, плана внедрения с максимальным использованием типового функционала и требований по доработке внедряемого прикладного решения «1С:ERP Управление предприятием 2».

Результатом исследования является модель информационной структуры предприятия «как надо», реализующая концепцию ERP, и план-график работ по внедрению.

Литература

1. **Питеркин С. В., Оладов Н. А., Исаев Д. В.** Точно вовремя для России. Практика применения ERP-систем. 2-е изд. М.: Альпина Бизнес Букс, 2006
2. **Дэниел О'Лири** ERP-системы: выбор, внедрение, эксплуатация. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. М.: Вершина, 2004

*Н. А. Кармилин, асп.; рук.-ли. Ю. Е. Мороховец, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);
Д. А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ О ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ДЛЯ ПЕРЕНОСА СЕРВИСОВ В ОБЛАКО

В настоящее время облачные технологии предоставляют широкий спектр услуг и технологий для хранения и обработки данных, платформы для распределенных вычислений, удаленные рабочие терминалы. Благодаря использованию облачных технологий можно добиться снижения сложности информационных систем предприятий, масштабируемости и гибкости их виртуальной инфраструктуры, легкости управления, снижения расходов на амортизацию оборудования. Поэтому предприятия, желающие увеличить производительность своей ИТ-инфраструктуры, переносят используемые ими данные и сервисы в облако, сталкиваясь при этом с проблемой повышения трудности оценки качества ИТ-инфраструктуры, определения рациональной конфигурации облака.

В докладе представлен оригинальный, разработанный автором алгоритм обработки собранной информации о корпоративной сети и работе ее серверов в случае предполагаемого переноса ИТ-инфраструктуры предприятия в облако.

Алгоритм производит обработку информации с серверов, использующихся на предприятии, и перехваченного сетевого трафика с целью поиска сервисов, которые работают на этих серверах. На основе этой информации производится конфигурация облачной среды.

Основные задачи алгоритма — конфигурация списка виртуальных машин и распределение используемых сервисов в созданной облачной среде согласно показателям загрузки оперативной памяти и процессоров серверов, потреблению ресурсов сервисами. Второстепенной задачей является балансировка сервисов по виртуальным машинам для более равномерной загрузки. На основе собранных данных строится описание виртуальных машин, определяется количество необходимых ресурсов, а также подсчитывается примерная стоимость полученного облачного решения. В дальнейшем полученная конфигурация может быть реализована у любого поставщика облачных технологий.

Литература

1. **Беттс Д., Гомер А.** Перенос приложений в облако, издание 3-е. 2012. <https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/ff728592.aspx>
2. **Dan C. Marinescu.** Cloud Computing: Theory and Practice. 2012.

*Ю. Ю. Карпович, студент; рук. М. Ю. Лебедева, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ» МЭИ» в Смоленске)*

ПРИМЕНЕНИЕ РОЕВЫХ РОБОТОВ

Инновации занимают одно из центральных мест в современной рыночной экономике, в частности это относится к такой промышленной отрасли, как роботостроение.

В данной работе рассматривается актуальная проблема, связанная с внедрением в жизнь человека различных вычислительных машин с высоким уровнем интеллекта, которые облегчают работу во всех сферах деятельности.

Роевая робототехника на сегодняшний день является наиболее интересным направлением в науке для исследования. Разработка системы для подобных роботов основывается на наблюдениях за насекомыми с роевым интеллектом (пчелы, муравьи). Вместо того чтобы конструировать одного сложного робота создается рой роботов, состоящих из машин с очень простым поведением, но со способностью решать задачи сообща. Мини-роботы по отдельности практически бесполезны, они снабжены лишь несколькими сенсорами и базовыми тактиками поведения. Единственный способ управления данным роем заключается во взаимодействии между роботами [1].

Существует достаточное большое количество областей, где можно найти применение роевым роботам, например, работа в экстремальных условиях, добыча сырья, изучение и мониторинг планеты Земля, исследование космического пространства.

В ходе исследования были выявлены преимущества роя роботов, исходя из проведенного сравнительного анализа с единичным роботом. Основными из них являются: многократное использование простых по конструкции роботов; низкая себестоимость; небольшие издержки; возможность использования для больших масштабируемых задач; гибкость систем, используемых для роевых роботов; надежность.

Таким образом, непрерывно изменяющиеся условия окружающей среды диктуют тенденции, согласно которым использование современных дешевых групповых роботов, имеющих простую конструкцию и ограниченные процессы взаимодействия намного целесообразнее, чем применение габаритного, мощного и дорогого робота.

Литература

1. **Матарик М.** Принципиальные связи динамической робототехнической системы при выполнении распределенных задач // Лаборатория исследователей робототехники университета Южной Калифорнии. 2014. № 6.

*А. А. Ларин, аспирант;
рук. Л. И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ ДАТА-ЦЕНТРА

Владельцы дата-центров (ДЦ) ищут все новые способы снижения потребления [1]. Энергопотребление серверов является наиболее значимым в суммарном энергопотреблении всего ДЦ [2]. Актуальна задача повышения эффективности использования серверов за счет средств виртуализации.

В данной работе предлагается построение автоматической системы, которая оптимизирует энергопотребление серверов за счет поиска простаивающих или малонагруженных серверов с последующей миграцией виртуальных машин и отключением простаивающих серверов.

Для этого ДЦ рассматривается как множество физических серверов $\{S\}$, назначенных на них виртуальных машин $\{VM\}$ в соответствии с матрицей распределений X .

Автоматическая система производит миграции виртуальных машин в соответствии с методикой перераспределения функционирующих виртуальных машин по серверам в дата-центре [3]. Для этого в системе присутствует модуль управления, в котором через сеть передачи данных собираются данные о состоянии ресурсов физических серверов и ресурсов назначенных на них виртуальных машин. Сбор данных осуществляется программными агентами, встроенными в физические сервера. Модуль управления, реализуя методику перераспределения виртуальных машин, вырабатывает управляющее воздействие, которое активизирует процесс миграции. После выполнения миграций разгруженные сервера выключаются.

За счет автоматического и периодического выполнения снижается суммарное энергопотребление всего дата-центра. Более подробная схема работы системы управления представлена в докладе.

Литература

1. **Burgess M.** Google's DeepMind trains AI to cut its energy bills by 40% // <http://www.wired.co.uk/article/google-deepmind-data-centres-efficiency>, 2016
2. **Шалошников Р.** Оптимизация ТСО дата-центра: ТОП 10 актуальных направлений оптимизации // Технологии и средства связи. 2015. № 6. С. 50–52
3. **Larin A., Abrosimov L.** Multi-criteria approach of data center resources relocation // DCCN 2017. Distributed computer and communication networks: control, computation, communications, 2017. С. 444–449.

Ю. Ф. Мартынова, студ.; рук. А. В. Филатов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КАТЕГОРИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ ОТ УТЕЧЕК ДАННЫХ

В настоящее время технологии, связанные с машинным обучением, внедряются в системы различного назначения. Данные технологии могут быть использованы в системах защиты от утечек данных (DLP-системы).

Системы защиты от утечек данных — программно-аппаратный комплекс, предназначенный для отслеживания и блокирования попыток передачи конфиденциальных данных за пределы информационной системы. DLP-системы строятся на анализе потоков данных, пересекающих пределы информационной системы, защиту которой они обеспечивают.

В рамках анализа потоков данных могут быть успешно применены алгоритмы машинного обучения для классификации угроз. Такой поиск является задачей классификации, которая, в свою очередь, является задачей машинного обучения [2].

При выборе конкретного алгоритма классификации необходимо учесть следующие особенности систем защиты от утечек данных:

1. Данные системы работают с данными различного содержания
2. Архитектурно DLP-система должна быть гибкой, так как может быть внедрена в различные информационные системы
3. Система отслеживает и анализирует данные в автоматическом режиме, собранные ей данные анализируются человеком

Исходя из вышеперечисленных особенностей, для решения поставленной задачи должен быть выбран алгоритм, обучающийся онлайн [2]. Для реализации был выбран алгоритм линейной взвешенной классификации (Multi-Class Confidence Weighted Algorithm) [2]. Применение алгоритма позволяет улучшить ряд характеристик системы: точность, безопасность. Данный алгоритм был реализован в виде аддона для платформы NodeJS для дальнейшего встраивания в WEB-комплекс защиты.

Литература

1. **Вьюгин В. В.** Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования. М.: 2013. — 387 с.
2. **Dredze, M., Crammer, K., and Pereira, F.** Confidence-Weighted Linear Classification ICML2008 (Helsinki, Finland), 2008 URL: https://www.cs.jhu.edu/~mdredze/publications/icml_variance.pdf

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

ВЫЯВЛЕНИЕ ОШИБОК В КОДЕ ПРОГРАММЫ С ПОМОЩЬЮ СТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА

Проблема безопасности становится все более актуальной в связи с растущим объемом разрабатываемого программного обеспечения. Исходные тексты программ зачастую содержат различные ошибки. Эти ошибки приводят к нарушению нормальной работы программы, в том числе они могут являться причиной уязвимостей в программах. Для выявления ошибок в программах широко применяется тестирование, однако, с ростом объема исходного кода программ, тестирование становится более трудоемким. Поэтому для выявления уязвимостей используют различные инструментальные средства, такие как статические анализаторы исходного кода программы [1].

Статический анализ кода — это анализ программного обеспечения, который производится над исходным кодом программ и реализуется без реального исполнения исследуемой программы [2].

Одним из наиболее распространенных классов уязвимостей программного обеспечения являются проблемы безопасности доступа к памяти. Множество программ, от которых требуется высокая производительность, реализованы на языках программирования С и С++, которые допускают ручное выделение и освобождением памяти, а также позволяют не проводить проверку индексов массивов, что может приводить к ошибкам в программах [3].

В данной работе решается задача обнаружения ошибок доступа к памяти за границами массивов. Ошибка выхода за границу массива возникает, если индекс, с помощью которого обращаются к элементам массива, превышает допустимое значение. Согласно стандарту языка С++, поведение программы в этом случае не определено. Для решения поставленной задачи выбран язык программирования С++ и статический анализатор кода Cppcheck, который реализует удобный инструментальный для анализа исходных текстов программ. Будет проведена разработка модуля для Cppcheck, который будет выявлять ошибку доступа к памяти за границами массивов.

Литература

1. URL: www.codenet.ru/progr/other/code-analysers.php
2. URL: www.itweek.ru/security/article/detail.php?ID=156479
3. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Защита_памяти

А. А. Мишин, студент; рук. И. И. Ладыгин к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРЫ МИКРОПРОЦЕССОРОВ «ЭЛЬБРУС»

Одним из важных направлений отечественной науки является создание высокопроизводительных средств вычислительной техники. Отечественный рынок вычислительных систем представлен множеством производителей и научных предприятий. Одними из наиболее интересных продуктов данного рынка являются разработки на базе отечественной микропроцессорной архитектуры «Эльбрус 2000» (E2k).

Сама архитектура E2k является представителем VLIW-архитектур [1]. При компиляции исходного кода применяется оптимизирующий компилятор, формирующий очень длинное командное слово переменной длины [2]. Таким образом процессоры «Эльбрус» отличает высокая производительность в алгоритмах с высокой степенью параллелизма, а также относительно низкое энергопотребление по сравнению с суперскалярными процессорами за счет организации памяти и подбора исполнительных устройств. Помимо этого, в архитектуре E2k реализована аппаратная поддержка контекстного приведения типов данных за счет применения тегов [2]. Так же, была обеспечена полная двоичная совместимость с архитектурой x86 [1]. Все это в совокупности делает процессоры «Эльбрус» одним из наиболее перспективных отечественных разработок в области вычислительной техники.

Целью данной работы явилось исследование особенностей архитектуры микропроцессоров Эльбрус. В выполненной мною работе были поставлены и решены следующие задачи:

1. Изучение современной линейки процессоров на базе архитектуры E2k и проведение их сравнительного анализа.
2. Исследование особенностей оптимизаций, применяемых компилятором lcc, а также разработка практических рекомендаций по написанию оптимального кода под архитектуру «Эльбрус».
3. Анализ перспектив использования данных процессоров, а также потенциальных областей их применения.

Данная работа будет полезна в качестве пособия по микропроцессорам «Эльбрус», охватывающим все аспекты работы и разработки под данную архитектуру.

Литература

1. **Ким А. К., Перекатов В. И., Ермаков С. Г.** Микропроцессоры и вычислительные комплексы семейства «Эльбрус». — СПб.: Питер, 2013. — 272 с.
2. **Волконский В. Ю.** Методы распараллеливания программ в оптимизирующем компиляторе // Вопросы радиоэлектроники серия ЭВТ № 3, 2012. С. 63–88.

*М. С. Никитенко, студ.;
рук. Д. А. Карвовский, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

РЕАЛИЗАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДА ВОКСЕЛЬНОГО ГЛОБАЛЬНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ СЦЕН

Современные системы компьютерной визуализации в реальном времени получают все большую популярность за счет обеспечения интерактивности и предоставления пользователю возможности визуальной обратной связи.

К таким системам относятся системы виртуальной и дополненной реальности, где главным требованием становится получение фотореалистичной графики. Одним из ключевых моментов в получении такой графики является физически корректное моделирование глобального освещения трехмерной сцены. Однако это требует применения трассировки и бросания лучей, что является очень ресурсоемким процессом.

Для расчета глобального освещения в реальном времени на данный момент разработаны различные методы, позволяющие эффективно рассчитать первичное освещение и аппроксимировать вторичное (косвенное) освещение. Одним из наиболее перспективных в настоящее время является метод воксельного глобального освещения [1]. Этот метод использует воксельную сетку для хранения информации об освещении в каждой точке сцены, а трассировка сцены осуществляется конусами для расчета эффекта отраженного света.

Главной проблемой данного метода является оптимальное воксельное представление сцены. Оригинальный метод без внесения оптимизаций требует большого количества видеопамяти. Однако возможно сократить объемы используемой памяти для размещения воксельного представления сцены с помощью применения разреженного воксельного октодеревя или трехмерных усеченных пирамид MIP-уровней.

Основными целями данного исследования являются: программная реализация оригинального метода воксельного глобального освещения с использованием библиотеки OpenGL (Open Graphics Library) [2] и оптимизация с использованием перечисленных выше решений, а также проведение сравнительного анализа полученных реализаций по следующим параметрам: время динамической вокселизации сцены, время расчета глобальной освещенности и объем занимаемой видеопамяти. В докладе приводятся результаты данного исследования.

Литература

1. **Crassin C., F. Neyret, M. Sain, S. Green, E. Eismann** Interactive Indirect Illumination Using Voxel Cone Tracing // The 19th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications, 21 to 23, 2011 in Kaohsiung, Taiwan
2. **Вольф Д.** OpenGL 4. Язык шейдеров. Книга рецептов/пер. с англ. А.Н. Киселева. — М.: ДМК Пресс, 2015.

А. В. Осипов, асп.; рук. Ш. А. Оцоков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МЕХАНИЗМОВ ВИРТУАЛИЗАЦИИ

Виртуализация стала популярным средством, которое помогает организовать работу крупных распределенных вычислительных систем (РВС). Одна из основных целей, для достижения которой применяются механизмы виртуализации — это повышение эффективности использования ресурсов вычислительной системы. Достигнуть этого позволяет возможность распределения виртуальных машин (ВМ), заведенных внутри системы [1]. Однако, виртуальных серверов может быть большое количество. В этом случае задача их распределения может оказаться довольно трудоемкой задачей многокритериальной оптимизации. На данный момент нет продуктов, предоставляющих возможность заранее смоделировать загруженность РВС и произвести оптимизацию использования ее ресурсов распределением ВМ еще до их создания на реальной системе. Для решения задачи распределения был разработан метод. Он опирается на математическую модель неоднородной РВС, разработанную ранее. Модель позволяет произвести оценку эффективности вариантов решений задачи распределения. Оценка производится на основе целевой функции в совокупности с рядом неравенств, накладывающих ограничения на эту функцию.

Задача выбора виртуальных серверов относится к классу условной псевдобулевой оптимизации [2]. Для решения таких задач применяют приближенные методы, дающие субоптимальные решения, но снижающие объема перебора вариантов. В результате анализа приближенных методов было решено воспользоваться методом локального поиска с внесением некоторых модификаций: разбиение множеств серверов на подмножества, введение изменяемого радиуса поиска, механизм многократного старта. Метод был опробован на сети малого офиса. Его применение позволило повысить эффективность работы РВС, а также выявить зависимости результатов решений от некоторых параметров алгоритма.

Литература

1. **Ghosh A.** OpenVZ vs KVM Virtualization: Which is Best for Cloud Server 2016. TheCustomizeWindows Journal, Saturday, March 5th, 2016, Vol.1 (01). Available at: <https://thecustomizewindows.com/2016/03/openvz-vs-kvm-virtualization-which-is-best-for-cloud-server/>
2. **Boros E., Hammer P.L.** Pseudo-Boolean Optimization. Rutcor Research Report, RRR 48–2001, September 2001.

М. А. Руденкова, асп.;
рук. Л. И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ПРОТОКОЛА ДОСТУПА К СРЕДЕ В КОРПОРАТИВНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЯХ СТАНДАРТА 802.11

В настоящее время широко распространенным корпоративными беспроводными локальными сетями (БЛВС) являются сети стандарта IEEE 802.11. Большинство приложений беспроводных устройств пользователей являются интерактивными и зависят от задержек при передаче данных. Оценка пропускной способности и задержек в БЛВС для различных протоколов доступа к среде рассматривались в моделях [1] [2] [3]. В приведенных моделях, делается допущение, что у подключенных к сети станции всегда не пустая очередь пакетов на передачу. Данное утверждение делает невозможным использование данных моделей для оценки реальной пропускной способности и задержек трафика пользовательских приложений в корпоративных БЛВС в процессе эксплуатации.

Рассматривается задача уменьшения задержек и увеличения пропускной способности корпоративных БЛВС путем выбора оптимального протокола доступа к среде. Для решения данной задачи был разработан стенд в среде моделирования OPNET для определения критериев переключения в зависимости от условий эксплуатации: количество подключенных беспроводных устройств пользователей с различным типом сетевых приложений.

В результате решения были определены критерии определяющие выбор оптимального протокола доступа к среде для уменьшения задержки передачи трафика сетевых приложений беспроводных устройств: количество подключенных станций к БЛВС, доля повторно передаваемых кадров, доля управляющего трафика. Экспериментальные графики и рекомендуемые значения критериев приводятся в докладе.

Литература

1. **Вишневский В. М., Ляхов А. И., Портной С. Л., Шахнович И. В.** Широкополосные беспроводные сети передачи информации // М.: Эко-Трендз, 2005. — 592 с.
2. **Bianchi G.** Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function // IEEE Journal on Selected Area in Communications 18(3), 2000. — P. 533–547.
3. **Cali F., Conti M., Gregory E.** Dynamic Tuning of the IEEE 802.11 Protocol to Achieve a Theoretical Throughput Limit // IEEE/ACM Transactions on Networking, 2000. No. 8(6). P. 785–799.

*Д. П. Сафоненко, студент;
рук. А. Ф. Крюков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМА СБОРА И ХРАНЕНИЯ ОТЧЕТОВ ОБ ОСМОТРЕ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

В современном мире большое распространение получили мобильные устройства — планшетные компьютеры и смартфоны. Они решают широкий круг задач в различных областях деятельности человека [1]. Например, они применяются для автоматизации сбора информации. Для этих целей обычно используются комплексные решения. Примером такого комплекса является разработанная нами программа для компании МОЭСК, которая не только помогает собрать данные о дефектах во время обхода линий электропередач, но и обработать их.

Важно не только процесс сбора результатов обходов, но и их дальнейшее хранение. В ходе учебно-исследовательской работы было проанализировано множество различных вариантов оптимизации сбора и хранения получаемых данных с использованием различных форматов данных и алгоритмов их обработки и хранения. Также в ходе работы были рассмотрены современные методы хранения информации, такие как нереляционные базы данных. В результате работы были сделаны следующие выводы:

1. Для хранения отчетов об осмотре линии электропередач эффективно использовать нереляционные базы данных.
2. Для эффективной работы на мобильном устройстве стоит использовать более легкие форматы хранения отчетов, такие как JSON и HTML.
3. Для быстрого переноса и сохранения данных на стационарном компьютере стоит рассматривать использование HTML и JSON.
4. Для автоматизации резервного копирования и быстрого поиска эффективно использовать готовые решения. Базы данных идеально подходят для этих задач. Особенно на фоне многочисленных СУБД, которые можно использовать для этой задачи, выделяется MongoDB [2].

Литература

1. **Дейтел П., Дейтел Х., Уолд А.** Android для разработчиков. Питер. 2016.
2. **Логунов А.** Data Science. Наука о данных с нуля. БХВ-Петербург 2017.
3. **Бэнкер К.** MongoDB в действии. ДМК Пресс. 2017.

В. О. Шахов, студ.; рук. И. И. Ладыгин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПАМЯТЬЮ

Существуют такие вычислительные задачи, определенные этапы которой можно эффективно распараллелить, т. е. выполнять независимо на разных процессорных модулях (ПМ), тогда как между самими этапами установлена зависимость по данным. Такие задачи и их наборы целесообразно решать на вычислительных системах (ВС) с распределенной архитектурой памяти Non-Uniform Memory Access (NUMA), т. к. планируя выполнение групп этапов с зависимостью по данным на определенном ПМ, можно получить значительный выигрыш во времени суммарного решения задачи, минуя длительные передачи данных между различными ПМ [1].

Для решения подобных задач крайне важно оптимальное решение задачи назначения. Необходимо проводить назначение так, чтобы по возможности как можно больше зависимых по данным этапов выполнялось на одном ПМ, и при этом общее время выполнения задач стремились к минимуму, уменьшая тем самым общий простой ресурсов ВС [2].

Была разработана программная модель, позволяющая оценивать зависимости времени выполнения набора задач от характеристик этих задач (связность), характеристик вычислительной системы (число ПМ, каналов связи и их пропускной способности) и вида стратегии назначения. В результате набранной статистики можно разработать систему рекомендаций по выбору стратегии назначения для заданного набора задач и заданной ВС, которая дает наилучший результат с точки зрения времени его выполнения. Эти стратегии — некоторые эвристические алгоритмы приближенной оптимизации задачи назначения, относящиеся к классу приоритетного распределения.

Разработанная программная модель обладает свойством расширения числа стратегий назначения и может быть использована в качестве инструмента лабораторной работы. В дальнейшем планируется разработать эвристические алгоритмы динамического назначения.

Литература

1. **Орлов С. А., Цилькер Б. Я.** Организация ЭВМ и систем: Учебник для вузов. 2-е изд. — СПб.: Питер, 2011.
2. **Ладыгин И. И., Калинина Г. А.** Лабораторные работы по курсу «Вычислительные системы». — М.: Издательство МЭИ, 1999.

*Д. А. Соколов, студент;
рук. А. Ф. Крюков, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВИРТУАЛЬНЫХ РАБОЧИХ СТОЛОВ В ИНФРАСТРУКТУРЕ УНИВЕРСИТЕТА

Виртуализация вычислительных и информационных ресурсов — одна из фундаментальных тенденций в сфере информационных технологий. Развитие технологий виртуализации дает огромный толчок к открытию новых решений, поэтому данная тема считается актуальной.

Современный этап развития средств виртуализации связан с их использованием применительно к архитектуре x86 и продолжается с конца 1990-х гг. Начавшись с виртуализации рабочих станций на персональных компьютерах, процесс сместился в серверную сферу, но сегодня опять отмечается повышение значимости клиентской составляющей, причем преимущественно для широкого класса мобильных устройств. [1]

Были рассмотрены системы виртуальных рабочих столов, существующие технологии, платформы виртуализации и технологии систем хранения данных. Также был произведен анализ по выбору критериев для создания системы, была проведена разработка и описание системы виртуальных рабочих столов в рамках университета.

В качестве используемой в разработке решения платформы виртуализации была выбрана VMware vSphere 6.5. Она обладает наиболее полным и качественно работающим функционалом, подходящим к критериям выбора системы, и удобством в управлении.

В результате работы была выбрана линейка систем хранения данных NetApp FAS8000. Данная СХД в наибольшей степени отвечает поставленным требованиям, является мультипротокольной системой, она может работать как в SAN-сети, так и как NAS-устройство, с файловым доступом через Ethernet. Платформа виртуализации построена на базе программного обеспечения VMware vSphere Desktop.

Кластер серверов виртуализации был реализован на основе кластера высокой доступности Cisco UCS. Такая реализация позволяет достигнуть высокой производительности, большой пропускной способности и масштабируемости, а внедрение гипервизора расширяет идею совместного использования ресурсов множеством пользовательских задач. [2]

Литература

1. **Михеев М. О.** Администрирование VMware vSphere 5. М.: ДМК Пресс, 2016.
2. **Марков А. С., Цирлов В. Л.** Руководящие указания по кибербезопасности в контексте ISO 27032 // Вопросы кибербезопасности. 2014. № 1 (2).

А. А. Сорокин, студ.;
рук. Ю. Е. Мороховец, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АСИНХРОННЫХ АВТОМАТНЫХ СХЕМ

Доклад посвящен анализу загрузки коммутаторов в многомашинных системах обработки данных (МСОД), реализующих асинхронные автоматные схемы (ААС) [1]. Небольшое число автоматных компонентов, реализуемых машинами МСОД, подключенными к коммутатору, малые размеры межкомпонентных буферов, хранящихся в оперативной памяти коммутатора, множество других факторов может привести к перегрузке коммутатора запросами на обмен данными. Анализ факторов, влияющих на загрузку коммутаторов, а также проектных решений, нивелирующих эти факторы, предполагается исследовать на имитационной модели, созданной в ходе работы.

Главные принципы моделирования аппаратно-программных механизмов обмена данными в МСОД следующие:

- коммутатор одновременно предоставляет доступ только к одному хранящему в нем буферу обмена только одной машине обработки данных;
- коммутатор предоставляет доступ к буферу машине обработки данных вне зависимости от предыдущей выполненной ею операции, то есть отсутствует жесткая связь между запросами на обмен;
- коммутатор не предоставляет доступ к буферу в том случае, если буфер пуст или полностью заполнен. При отказе в доступе к буферу машина обработки данных прекращает генерировать запросы на обмен данными через этот буфер.

Имитационное моделирование аппаратно-программных механизмов обмена данными в МСОД осуществляется по событиям.

На начальном этапе работы модели для каждой машины обработки данных генерируются массивы запросов, по одному запросу на каждый буфер, через который машина осуществляет обмен данными. В ходе работы модели среди всех запросов машины выбирается запрос с наименьшим временем, причем приоритет отдается операциям записи в буфер, при этом учитывается порядок поступления запросов в очередь.

Коммутатор опрашивает машины обработки данных на предмет наличия запросов на обмен. Выбирается машина обработки данных с запросом, имеющим наименьшее время, причем приоритет отдается машине с наименьшим номером.

Литература

1. **Калинина Г. А., Мороховец Ю. Е.** Модель асинхронной автоматной обработки данных // Вестник МЭИ. 2008. № 5. С. 57–61.

*В. А. Суховерхий аспирант;
рук. Л. И. Абросимов, д.т.н., проф. (МЭИ, Москва)*

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПОСТРОЕНИЯ ОБЛАЧНОГО СЕРВИСА НА БАЗЕ NAS-УСТРОЙСТВ

В связи со сложившейся ситуации в плане конфиденциальности облачных хранилищ становится актуальной проблема безопасности хранящихся и удаленно исполняющихся данных на облачных сервисах.

Согласно последним проведенным социологическим исследованиям, облачные и другие удаленные сервисы вызывают недоверие у пользователей как в коммерческом, так и в гражданском секторе.

Для решения проблем, связанных с защищенностью данных при использовании облачных сервисов, в коммерческий сектор и для домашнего использования интегрируются NAS (Network Attached Storage англ.) устройства в качестве замены сторонним облачным сервисам [1].

NAS-устройства уступают облачным сервисам: отсутствием предоставления API или сильной ограниченностью для работы сторонних приложений, также NAS-устройства не обладают возможностью удаленного выполнения приложений.

Ограниченность функций NAS-устройств не позволяет рассматривать интеграцию NAS-устройств как замену облачным сервисам.

Решение проблемы, связанной с недостатком открытого API для NAS-устройств, можно решить, применив дистрибутив Unix операционной системы, построенной с использованием сетевой оконной системы.

В качестве оконной системы в большинстве дистрибутивов unix-совместимых операционных систем используется X Window System. Оконная система позволяет проводить полноценное удаленное сетевое взаимодействие по протоколу устаревшему X Window System core protocol что делает невозможной поддержку большинства сетевого функционала [2].

Для решения указанной проблемы автором разработана сетевая оконная система с применением веб технологий для unix-совместимых операционных систем. Применение разработанной сетевой оконной системы позволяет предоставить API для приложений, упростив оптимизацию приложений, работающих на NAS устройстве, для дальнейшего удаленного взаимодействия по сети.

Литература

1. NAS, URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/NAS>, (дата обращения: 24.11.2017).
2. Matt Welsh, Linux Installation and getting Started. — Specialized Systems Consultants, Inc (SSC), 2008. — 430 с.

*А. А. Уварова, Е. А. Уварова, магистранты;
рук. А. Т. Кобяк, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРОГРАММНЫЙ УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАБОТЫ С ЦИФРОВЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Создание программного учебного комплекса представляет собой одно из важных направлений в компьютеризации обучения. Соединение оптимизированного интерфейса, вычислительных, информационных и других возможностей вычислительной техники несет в себе большой потенциал. Таким примером является разработанный на кафедре Вычислительных машин, систем и сетей (ВМСС) НИУ «МЭИ» программный учебно-лабораторный комплекс.

Замена устаревшего измерительного оборудования в середине 2000 годов на кафедре ВМСС позволила автоматизировать процесс исследования и проводить дальнейшую обработку полученной информации с помощью компьютера. Однако при интенсивной эксплуатации лаборатории осциллографы и генераторы некорректно выполняют некоторые функции при ручном управлении. С применением разработанного программного учебно-лабораторного комплекса могут быть устранены данные неточности срабатывания оборудования, тем самым продлевая срок эксплуатации приборов.

Программный учебно-лабораторный комплекс для работы с цифровым оборудованием состоит из следующих программ:

- 1) Oscilloscope управляет цифровым осциллографом и позволяет получать снимок с экрана, сохранять изображение;
- 2) Generator управляет генератором сигналов специальной формы;
- 3) Voltmetr показывает напряжения, считываемые с осциллографа;
- 4) ACH позволяет устанавливать параметры на генераторе и снимать данные с осциллографа, и визуально отражать амплитудно-частотную характеристику в логарифмическом масштабе;
- 5) Phase позволяет устанавливать частоту на генераторе, измерять фазу с помощью осциллографа и строить фазочастотную характеристику.

Разработанный комплекс направлен на решение актуальной научной проблемы — создание информационно-управляющих систем и комплексов.

Секция 17

УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАТИКА В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Председатель секции — к.т.н., доцент Д.Н. Анисимов
Секретарь секции — аспирант Е.В. Фёдорова

А. К. Абд Эльрахим, асп.; рук. В. А. Шихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПИСАНИЕ АГЕНТОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ АНАЛИЗА МИКРОГРИД С ЗАДАННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

Микроэнергосистеме (микрогрид) [1, 2] присущи следующие особенности: единство разнородных распределенных и централизованных источников энергии, возобновляемых источников, накопителей энергии, разнотипных потребителей. Микрогрид должна обеспечивать надежное снабжение потребителей как при совмещенной с внешним энергоснабжением внутренней генерацией, так и при условии полного отделения от централизованного источника, т.е. в изолированном режиме. Микрогрид представляет собой комбинацию управляемых и неуправляемых источников энергии, что затрудняет достижение баланса мощности, повышает актуальность регулирования напряжения и соотношения активной и реактивной мощности. Вместе с тем, микрогрид включает в себя многочисленные цифровые устройства, управляющие потоками энергии и информации. Усложнение задач управления состоит также в том, что отдельные субъекты микрогрид (агенты) могут иметь свои специфические критерии эффективности функционирования и, возможно, конфликтующие. Общеизвестно, что управление микрогрид не может быть строго централизованным или децентрализованным.

В данной работе рассматриваются структура и функциональность интеллектуальной системы управления микрогрид на основе предлагаемого мультиагентного подхода [3]. Такой подход представляется перспективным для целей оптимизации функционирования микрогрид путем оптимального планирования распределенной генерации и управления спросом и предложением в темпе реального времени. В докладе рассмотрено предложенное формализованное представление разнотипных интеллектуальных агентов с ориентацией на решение задач анализа надежности, качества и экономической эффективности энергоснабжения.

Литература

1. **Kantamneni A., Brown L. E., Parker G., Weaver W. W.** Survey of multi-agent systems for microgrid control. *Engineering applications of artificial intelligence* 45, 2015, p. 192–203.
2. **CIGRÉ.** Working Group C6.22 Microgrids Evolution Roadmap, *Microgrids 1: Engineering, Economics, & Experience*, forthcoming.
3. **McArthur S. D. J., Davidson E. M., Catterson V. M., Dimeas A. L., Hatziargyriou N. D., Ponci F., Funabashi T.** Multi-agent systems for power engineering applications — part 1: Concepts, approaches and technical challenges. In: *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 22, No. 4, 11.2007, pp. 1743–1752.

*И. А. Берг, аспирант;
рук. С. В. Поршнева, д. т. н. (УрФУ, Екатеринбург)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ ПОДАЧИ ТОПЛИВА

В современных условиях существуют и применяются различные технологии для глубокого подавления оксидов азота, образующихся в энергетических установках в процессе сжигания топлива. Однако данным технологиям присущ известный недостаток, обусловленный тем, что их использование иногда приводит к неполному сгоранию топлива. В этой связи разработка методов снижения концентрации оксидов азота, свободных от указанных недостатков является актуальным. Одним из перспективных подходов к решению данной проблемы представляется подход, основанный на использовании пульсационного режима горения топлива, возникающего при периодическом объеме топлива, подаваемого в горелку [1]. Для подтверждения высказанной гипотезы были проведены экспериментальные исследования особенностей пульсирующего факела.

Для проведения экспериментов был разработан автоматизированный измерительный комплекс, обеспечивающий получение видеозаписей тепловизионных последовательностей вертикального диффузионного факела, в котором использовался тепловизор FLIR 7700M с разрешением 320×240 пикселей и частотой съемки 412 Гц. Далее на каждом из кадров видеозаписи измерялась площадь продольного сечения выбранной зоны факела, т. е. формировались временные ряды (ВР), содержащие дискретные значения зависимости площади выбранной зоны факела от времени. Спектральный анализ и сингулярный спектральный анализ (SSA) обсуждаемых ВР показали, что в изучаемых зависимостях присутствует периодическая составляющая, частота которой кратна частоте открывания клапана. Также были найдены режимы работы горелки, в которых обеспечивается пульсационный режим в ядре факела, и, одновременно, устойчивый режим горения на начальном участке воспламенения. Данные результаты подтверждают возможность регулирования режимов работы факела за счет вариации частоты открытия клапана и обеспечения такого процесса горения топлива, при котором концентрация оксидов азота в сравнении с режимом непрерывной подачи топлива окажется меньше.

Литература

1. **Berg I. A., Porshnev S., Oshchepkova V., Medvedev A.** Frequency-Domain Analysis for Pulsating Combustion of Gaseous Fuel. AIP Conf. Proc., 1836 (020036), 2017. doi:10.1063/1.4981976
2. **Berg I. A., Porshnev S., Oshchepkova V.** On Application of the SSA Method in the Pulsating Combustion Studies. AIP Conf. Proc., 1906 (070017), 2017. doi:10.1063/1.5012343

В. В. Быстрых, студент;
рук. В. Е. Качесов, д.т.н., доц. (НГТУ, Новосибирск)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЛОКАЦИИ ДЕФЕКТОВ ФАЗНОЙ ИЗОЛЯЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВОЗДУШНЫХ СЕТЕЙ 6–35 КВ

Распределительные сети имеют большую протяженность, сложную структуру, изменяющуюся конфигурацию и высокий износ, поэтому подвержены однофазным замыканиям на землю (ОЗЗ). Перемежающаяся дуга при ОЗЗ может привести к опасным дуговым перенапряжениям до $3,1U_{фm}$ [1], переходу однофазного замыкания в междуфазное, а также гибели людей и животных. Исключить это явление можно оперативным отключением поврежденного участка. Но из-за разветвленности перемещение оператора вдоль воздушной линии затруднительно. Для оперативного отключения нужен дистанционный способ определения места повреждения.

Предлагается устройство локации ОЗЗ в сети по полярности токов нулевой последовательности (НП), передающее эту информацию на пульт диспетчера. При ОЗЗ ток НП на пути от шин подстанции до повреждения больше и противоположен по отношению к токам НП смежных линий.

В каждом узле сети микроконтроллеры (МК) измеряют фазные токи и передают их значения на центральную фазу для вычисления тока НП. Закодированная информация о его полярности и координаты устройства в виде ВЧ-сигнала с помощью PLC-модема передаются в пункт диспетчерского управления для формирования общей картины (Рис. 1).

Устройства питаются от защищаемой линии двумя способами: а) от фазы и б) по междуфазному каналу. Удалось получить 6 В на выводах фазного канала питания, достаточные для МК.

Оценено затухание передаваемого ВЧ-сигнала частотой 50 кГц и 100 кГц. В рассматриваемой сети 50 кГц обеспечивает большее напряжение на приемнике, достаточное для уверенного приема информации.

Внедрение способа на практике позволит повысить надежность распределительных сетей, повысить уровень электробезопасности и снизить число аварий, сопровождающихся полным отключением сети.

Литература

1. **Разевиг Д. В.** Техника высоких напряжений: учебник для студентов электротехнических и электроэнергетических специальностей вузов / Д. В. Разевиг и др. — 2-е изд., перераб. и доп. — М: Энергия, 1976. — 488 с. с ил.

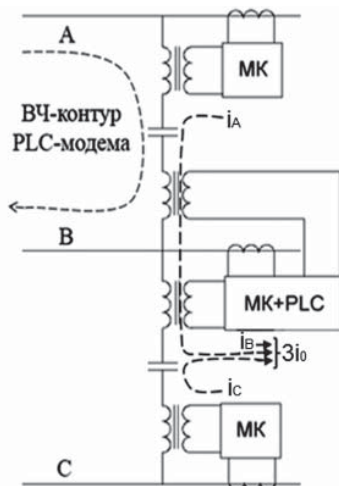
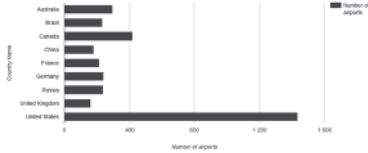


Рис. 1. Схема устройства:
МК — микроконтроллер.

А. В. Чомхало, студент;
рук. Е. И. Мерзликина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

АНАЛИЗ ДАННЫХ АЭРОПОРТОВ МИРА

Density of airports



Coordinates of airports in the world



Рис. 1. Распределение плотности аэропортов по странам и их координаты на карте мира

Анализ данных — область математики и информатики, занимающаяся построением и исследованием общих математических методов и вычислительных алгоритмов извлечения знаний из данных, а также процесс их исследования, фильтрации, преобразования и моделирования с целью извлечения полезной информации и принятия каких-либо решений.

В качестве примера приводится проект с данными (<https://avenosh.shinyapps.io/airports>) аэропортов по всему миру, показывающий различные типы визуализации данных, созданный мной в рамках практики программирования на «R» (рис. 1). Данная веб-страница отражает различные возможности структуризации табличных данных об аэропортах всего мира, взятых из открытого международного источника.

Таблицу данных можно сортировать по возрастанию или убыванию элементов, находящихся в столбцах (ненужные столбцы возможно скрыть). Далее представлены распределение плотности аэропортов на страну и обозначены координаты на карте мира каждого из аэропортов. Эти данные могут быть использованы как для статистического анализа, так и для исследований в областях маркетинга, логистики и т. п.

Проекты подобного типа могут быть использованы в качестве анализа данных АСУ ТП, т. к. весь инструментарий языка «R» позволяет легко совершать статистический анализ больших объемов данных, имеет интуитивно понятный интерфейс, доступен на всех операционных системах, а также является свободным ПО.

Языка программирования «R», набирает популярность во многих сферах деятельности, включает в себя последние методики статистического анализа и имеет широкий спектр функций и пакетов, написанных пользователями [1].

Литература

1. <https://www.r-project.org/about.html> Официальный сайт разработчика языка программирования R.

*С. С. Фелисов, студент;
рук. О. Ю. Марьясин, к.т.н., доц. (ЯГТУ, Ярославль)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ ЗДАНИЯ В OPENMODELICA

При оценке энергопотребления зданий, проектировании систем отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВК), проектировании систем управления оборудованием ОВК часто возникает необходимость разработки математических и компьютерных моделей.

Автором разработаны компьютерные модели систем управления тепловым режимом здания в системе OpenModelica [1]. OpenModelica — это свободнодоступная среда моделирования, основанная на языке Modelica. Язык Modelica разработан и поддерживается некоммерческой организацией Modelica Association. Существует множество как коммерческих, так бесплатных систем моделирования, основанных на языке Modelica, таких как Dymola, SimulationX, MapleSim, Wolfram SystemModeler, OpenModelica, JModelica и другие. На данный момент на базе Modelica создано большое количество различных библиотек. Имеется ряд специальных библиотек, предназначенных для моделирования энергопотребления и микроклимата зданий. Одной из таких библиотек является библиотека BuildSysPro. BuildSysPro включает богатый набор элементов для моделирования передачи тепла через различные ограждающие конструкции, модели оборудования ОВК, модели элементов систем управления и многие другие.

Основу разработанных моделей составляет модель зоны (помещения), включающая заданный набор ограждающих конструкций (стены, окна, потолок, пол) и учитывающая влияние наружной температуры, солнечной радиации и ветра. Для управления тепловым режимом использовались модели такого оборудования ОВК как, электрические конвекторы, радиаторы водяного отопления, теплые полы и другие. В качестве вариантов системы управления использовались модели двух/трехпозиционных регуляторов, ПИД-регуляторов, регуляторов с мертвой зоной. Особое внимание уделялось моделям, включающим несколько контуров управления, например с одновременным использованием электрического нагревателя, радиаторов отопления и теплого пола. В этом случае изучалось влияние различных контуров управления на работу друг друга и выбиралась наиболее энергоэффективная стратегия управления.

Разработанные компьютерные модели могут использоваться при проектировании и расчете систем управления тепловым режимом зданий.

Литература

1. **Welcome to OpenModelica — OpenModelica** [Электронный ресурс]. URL: <http://www.openmodelica.org/index.php>.

*Е. В. Федорова, аспирант;
рук. Д. Н. Анисимов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЦИКЛ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО КУРСУ «НЕЧЕТКИЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ»

Доклад посвящен разработке программного и методического обеспечения для проведения цикла лабораторных работ по курсу «Нечеткие алгоритмы управления» [1]. Цикл состоит из четырех работ:

- «Ручное управление динамическим объектом»;
- «Нечеткий логический регулятор (НЛР) для управления динамическим объектом»;
- «Настройка параметров ПИД-регулятора в ручном режиме»;
- «Нечеткая супервизорная система автоматического управления».

В первой лабораторной работе студентам предлагается провести серию экспериментов на объектах управления 1-го, 2-го и 3-го порядков с целью получения информации об их реакции на различные управляющие сигналы.

Во второй лабораторной работе студенту с помощью полученных в первой лабораторной работе знаний предлагается настроить НЛР с целью управления заданными объектами управления [2].

В третьей лабораторной работе студенту предлагается настроить ПИД-регулятор для управления объектом управления, параметры которого сгенерированы случайно.

В четвертой лабораторной работе студентам предлагается настроить нечеткий супервизор для подстройки коэффициентов ПИД-регулятора. Настройка супервизора производится с помощью знаний, полученных в лабораторной работе № 3.

Все лабораторные работы содержат описание программы, задание, методические указания, контрольные вопросы.

Цикл лабораторных работ прошел апробацию в 2016–17 учебном году, в ходе которой были устранены все недочеты технического и методического характера.

Литература

1. **Анисимов Д. Н.** Нечеткие алгоритмы управления: Учеб. пособие. — М.: Издательство МЭИ, 2004.
2. **Федорова Е. В.** Разработка алгоритмического и программного обеспечения для исследования свойств нечеткого логического регулятора. — Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. Двадцать второй междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (25–26 февраля 2016 г., Москва). — Москва: Издательский дом МЭИ, 2016. — Том 1. — С. 280.

А. Н. Головтеева, студ.;
рук. В. М. Беседин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОРГАНИЗАЦИИ ДВУХСТОРОННЕГО ПОИСКА ПРИ НЕПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТАХ

В работе рассматривается задача пространственного поиска, при котором обследуется область возможного нахождения искомого объекта с целью его обнаружения и в дальнейшем установления связи. Системы автоматического управления, работающие в режиме «поиск», в настоящее время используются для решения проблем в сложных энергетических системах, производственных комплексах, транспортных и коммуникационных сетях [1]. В связи с этим дополнительные исследования и новые разработки по данной тематике представляются актуальными.

Целью данной работы является решение задачи оптимизации двухстороннего поиска неподвижного объекта и исследование эффективности поиска с выбором стратегии сканирования. Отличительной особенностью настоящей работы является рассмотрение общего случая постановки задачи оптимизации, в котором функция эффективности является монотонно возрастающей вогнутой функцией, отличной от экспоненциальной.

Условная вероятность обнаружения — вероятность обнаружения объекта ячейке области его возможного нахождения при условии, что он в ней расположен и на просмотр объектом тратится φ_i (ψ_j) поисковых усилий (количество затраченного ресурса на просмотр одной ячейки). В качестве критерия поиска принимается полная вероятность обнаружения цели. На каждом из этапов возможен просмотр области поиска согласно одному из следующих вариантов: оптимальный просмотр, равномерный и оптимальный в классе равномерных.

В рамках работы разработано программное обеспечение для решения задач двухэтапного поиска, позволяющее провести сравнительный анализ различных вариантов его осуществления. Исходя из анализа трех стратегий сканирования, пришли к выводу, что поиск с оптимальным просмотром области возможного нахождения объекта (О-О) является наиболее эффективным, по сравнению с двумя другими, при этом увеличение параметра функции условной вероятности обнаружения ведет увеличению эффективности трех рассматриваемых алгоритмов поиска (О-О, ОКР-ОКР и Р-Р).

Литература

1. Чернявский Г. М., Чернов А. А. Лазерные системы в космосе. М.: Радио и связь, 1995.

*С. М. Грязнов, студент;
рук. Д. Н. Анисимов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРЕУГОЛЬНЫХ НОРМ ФРАНКА ПРИ НАСТРОЙКЕ НЕЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ

Анализ работы нечетких систем автоматического управления позволил выявить ряд факторов, влияющих на качество управления, таких как количество термов входных и выходных переменных, вид функций принадлежности нечетких переменных, составляющих терм-множества лингвистических переменных, характер нечеткого соответствия между пространством предпосылок и пространством заключений, способ дефаззификации, выбор логического базиса, который определяется треугольными нормами (T -нормами) и конормами (S -нормами) [1, 2], влияние степеней значимости подусловий в предпосылках при их агрегировании [1].

В данном докладе приводятся результаты исследования влияния логического базиса на динамические характеристики нечеткого регулятора и оценка возможности его подстройки при переходе от одного базиса к другому. Для этого используется одна из форм параметрического задания логических базисов, а именно, семейства T - и S -норм Франка:

$$\begin{aligned} T_{\lambda}^F(x_1, x_2) &= \log_{\lambda} \left[1 + \frac{(\lambda^{x_1} - 1)(\lambda^{x_2} - 1)}{\lambda - 1} \right], \\ S_{\lambda}^F(x_1, x_2) &= 1 - \log_{\lambda} \left[1 + \frac{(\lambda^{(1-x_1)} - 1)(\lambda^{(1-x_2)} - 1)}{\lambda - 1} \right]. \end{aligned} \quad (1)$$

Как показали исследования, зависимости показателей качества от параметра λ являются монотонными лишь в нескольких достаточно узких диапазонах его изменения. Это в принципе дает разработчику систем управления возможность подстройки нечеткого регулятора в тех случаях, когда достигнутое качество управления не сильно отличается от требуемого. Однако в целом непредсказуемость изменения характеристик нечеткой системы управления свидетельствует о нецелесообразности использования семейства Франка для подстройки нечеткого регулятора.

Литература

1. Анисимов Д. Н., Новиков В. Н., Сафина Э. А. Исследование влияния треугольных норм на динамику нечеткой системы автоматического управления. — Вестник МЭИ. — 2013. — № 4. — С. 186–192.
2. Анисимов Д. Н., Новиков В. Н., Сафина Э. А., Ситников К. Ю. Исследование влияния выбора логического базиса на характеристики нечеткого регулятора // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2013. — № 8 (149). — С. 12–17.

А. О. Гурина, студ.; рук. В. Л. Елисеев к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБНАРУЖЕНИЕ АТАКИ SQL–INJECTION С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕВОГО МЕТОДА

На сегодняшний день подавляющее большинство веб-ресурсов, сервисов и приложений подвержено SQL-injection атакам (SQLIA) в силу широкого применения баз данных для хранения конфиденциальной информации, а также простой обнаружения и эксплуатации уязвимости для кражи, модификации хранимой информации или выполнения злонамеренных действий на атакуемом сервере. Учитывая, что усовершенствованные варианты SQLIA позволяют обходить сигнатурные методы защиты, задача разработки новых методов обнаружения внедрения зловредного SQL-кода наиболее актуальна.

Предлагаемый метод базируется на предположении о том, что SQLIA-нештатное действие с базой данных, будет отражаться на форме корреляционной функции (КФ), как мгновенной числовой характеристики, отражающей взаимосвязь интенсивности входящего и исходящего трафика. Нейронная сеть используется для решения задачи одноклассовой классификации КФ и обнаружения аномалии, если КФ не похожа на КФ обучающей выборки, построенной при нормальной эксплуатации сетевого сервиса пользователем. Метод опробован для обнаружения SQLIA на сетевой сервис для создания тематических форумов — MyBB с известной уязвимостью [1], которая была эксплуатирована при построении тестовой выборки.

Свидетельством обнаружения обученной нейронной сетью аномальной КФ является превышение значением ошибки реконструкции, вычисляемой по формуле среднеквадратичной ошибки между текущим входным и выходным вектором нейросети, некоторого заданного порогового значения. Ошибка реконструкции для отличающихся КФ, характеризующих штатную работу сервиса, будет существенно превышать среднее значение ошибки для КФ, близких к КФ обучающей выборки.

Нейросетевой подход успешно применен для обнаружения SQLIA на уязвимый сервис MyBB. Предполагается возможным распространить технологию для обнаружения и других типов атак на сетевые ресурсы ограниченного функционала, в том числе на веб-приложения набирающих популярность устройств Интернета вещей (IoT).

Литература

1. **Packet Storm**. MyBB version 1.8.6 suffers from a remote SQL injection vulnerability. — URL: <https://packetstormsecurity.com/files/138744/MyBB-1.8.6-SQL-Injection.html> (19.04.2017).

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

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ SCADA-СИСТЕМЫ В ПРОГРАММНО-АППАРАТНОМ КОМПЛЕКСЕ LABVIEW

В работе рассматриваются вопросы оптимизации и автоматизации контроля качества изделий, выпускаемых предприятием оборонно-промышленного комплекса (ОПК).

Было разработано и внедрено прикладное программное обеспечение АСУ «НИТИ» на базе пакета LabView, представляющее оптимизированную SCADA-систему с мнемосхемой для проверки блоков управления вентильно-индукторных электроприводов (БУ ВИЭП). Децентрализованная структура управления формирует выходную информацию, учитывая всю информацию каждого подпроцесса в отдельности. АСУ «НИТИ» автоматически по сохраненному протоколу «идеального изделия» контролирует показания подпроцесса по порядку, проверяя только часть изделия.

Выделим несколько подпроцессов:

- Проверка цифровых сигналов в системе управления;
- Проверка выпрямленного напряжения при подаче питания;
- Проверка напряжений и токов на силовых ключах при включении системы управления.

Визуализируя информацию на мнемосхему, АСУ «НИТИ» графически на экране монитора информирует оператора об ошибках в точном месте проверяемого изделия на этапе подпроцесса, тем самым обезопасив остальную часть схемы от выхода из строя.

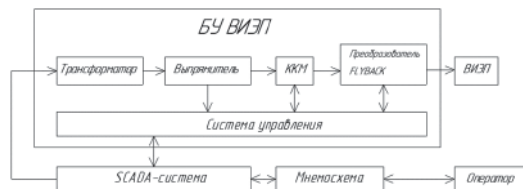


Рис. 1. Блок-схема реализации SCADA-системы

позволил выявить брак, возможный устранить минимальными затратами в короткое время.

На рис. 1. видно, что оператор на удаленном расстоянии может не только следить за ходом проверки изделий, но и управлять ею. Начиная работу на расстоянии, оператор обезопасит себя и исключит человеческий фактор, влияющий на проверку. Более жесткий контроль качества

*Д. В. Исаев, студент; рук. М. Ю. Косинский, ст. преп., к.т.н.
(НИУ «МЭИ», ФГУП МОКБ «Марс»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ И ОРИЕНТАЦИИ

Одной из важнейших систем космического аппарата (КА), является система стабилизации и ориентации (ССО). ССО — это система, функционирующая постоянно при штатной эксплуатации КА. Данная система компенсирует влияние возмущающих моментов, которые могут иметь самое разнообразное происхождение, величину и продолжительность действия [1].

Качество функционирования данной системы зависит от характеристик устройств, входящих в нее. Также немаловажную роль играет и качество поступающей измерительной информации, источниками которой является гироскопический измеритель вектора угловой скорости (ГИВУС).

Гироскопический измеритель вектора угловой скорости предназначен для определения и выдачи в бортовую систему управления космического аппарата информации угловой скорости аппарата. В качестве датчиков угловой скорости используются гироскопические измерители различного класса точности.

При разработке подобных систем для упрощения анализа на этапе предварительного проектирования могут пренебрегать характеристиками ГИВУС и не учитывать его в общей структурной схеме системы. Однако, такое упрощение справедливо, если полоса пропускания ГИВУС соответствует полосе частот, на которой предполагается функционирование системы управления.

Основными характеристиками гироскопов, влияющими на качество управления, являются диапазон измеряемой угловой скорости, уровень шумовой составляющей выходного сигнала, уровень постоянного сигнала, не зависящего от ускорения.

В работе рассматриваются влияние указанных характеристик на функционирование ССО, а также проводится сравнительный анализ применения двух типов ГИВУС.

Литература

1. Бортовые системы управления космическими аппаратами: Уч. пособие / Бровкин А. Г., Бурдыгов Б. Г., Гордийко С. В. и др. Под ред. А. С. Сырова — М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010.

Д. Е. Кондрашин, студент;
рук. В. А. Шихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТАХ

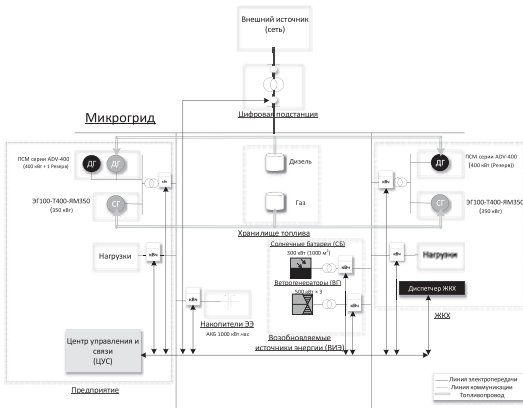


Рис. 1. Схема Автономной подстанции

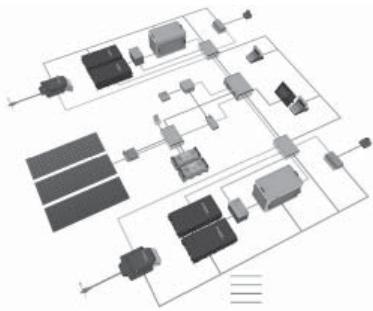


Рис. 2. Электромеханическая схема автономного катера

Для него предложена к применению система LORAWAN [2], где через каждые 5 км располагаются буйи с ретрансляторами, что обеспечивало постоянную устойчивую связь с объектом, даже при работе от аккумуляторов в условиях низкого энергопотребления, включая передачу аудио-видео сигналов.

Литература

1. Правила проектирования, строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий связи на воздушных линиях электропередачи напряжением 110 кВ и выше. — М.: РАО «ЕЭСРоссии», 1999.
2. M. Centenaro Long-Range Communications in Unlicensed Bands: the Rising Stars in the IoT and Smart City Scenarios 2016.

Одной из важнейших проблем по передаче данных для автономных объектов является баланс между высокой скоростью передачи данных при приемлемой цене и энергозатратах. Исследование заключается в обеспечении автономных объектов современными, надежными и энергоэкономичными видами связи, для обеспечения их максимальной эффективности при автономном и полуавтономном функционировании.

В первом случае, для автономной энергогенерации в Арктике на основе микрогрид (МКЭС), предлагается использовать ВОЛС с резервированием по спутниковому каналу, т.к. это обеспечивает высокую надежность, энергоэффективность, управляемость и наблюдаемость. Предложенное оборудование ВОЛС включает в себя два транспондера TR — 10G с технологией FEC, два усилителя и два компенсатора хроматической дисперсии

Второй тип объекта — беспилотное надводное судно (БПНС). Альтернативный вид связи реализуется для автономного патрульного катера, контролирующего береговую линию и прибрежную акваторию.

А. А. Ларин, студ.; рук. Т. В. Ягодкина, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Следящие системы находят широкое применение в различных отраслях техники. Они используются при автоматизации производственных процессов и в вычислительной технике.

На основе данной лабораторной работы рассмотрены общие вопросы проектирования на конкретных примерах, что дает возможность изучить методы проектирования современных систем. Рассмотрены вопросы изучения методов моделирования многомерных систем в пакете SIMULINK, освоения методики расчета адаптивного модального управления. Проведены экспериментальные исследования возможности управления при изменении параметров системы.

На практике уже разработано множество способов решения этих задач, использующих известное математическое описание объектов управления, доступных измерению сигналов внутри объекта и допускающих включение дополнительных (корректирующих) устройств внутрь системы, что в ряде случаев является ограничением применимости этих способов управления [1]. Для преодоления этих ограничений используется управление с идентификатором, или по модели, построенной в результате идентификации. Процедура идентификации динамических объектов (систем) связана с достаточно большим объемом математических вычислений, требующих реализации на компьютере [2].

При реализации адаптивного модального метода синтеза адаптивных систем в среде Matlab/Simulink на примере работы блока идентификации при помехах по полученным результатам моделирования отмечено, что сохранение устойчивости и уровня сигналов на выходе объекта, достаточно плавные процессы при 5% — 20% процентном отклонении параметров от первоначально заданных значений [3].

Литература

1. **Кузовков Н. Т.** Модальное управление и наблюдающие устройства. М.: Машиностроение, 1976 г.
2. **Черных И. В.** Simulink.: среда создания инженерных приложений // М.: Диалог-МИФИ, 2004.
3. **Ву Ань Хиен, Ягодкина Т. В.** Синтез инвариантной системы адаптивного модального управления на базе следящей системы // «Фундаментальные исследования» — Издательский Дом «Академия Естествознания» — 2016. — № 6 (часть 1) — стр. 52–57.

Г. Х. Максимова, студент;
рук. Г. А. Фомин, проф., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММ АНАЛИЗА ДАННЫХ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ФАКТОРОВ В ОБЪЕКТЕ УПРАВЛЕНИЯ

Анализ данных применяется во многих областях современной деятельности: в промышленности, финансах, медицине и т. д. При этом используются данные измерения некоторых факторов, представленных в числовых и нечисловых шкалах и отражающие процессы в объекте.



Рис. 1. X — количественный фактор, Y — номинальный фактор (например, диагноз), Z — латентный порядковый фактор, V — соответствие Z и Y

В работе рассматривается метод анализа связи количественного фактора, оказывающего влияние на номинальный фактор (рис. 1). Предполагается, что сила связи факторов известна и что имеются данные наблюдений факторов в некоторые моменты времени на изучаемом объекте. С помощью метода дуального шкалирования значения номинального фактора преобразовывались в порядковые значения некоторого латентного фактора с учетом известной силы

связи между факторами. После этого применялся метод регрессионного анализа к описанию связи количественного и порядкового факторов.

В процессе исследований были разработаны следующие программы:

- 1) создания имитационных данных;
- 2) дуального шкалирования;
- 3) расчета регрессионной модели и прогноза значений номинального фактора по значениям влияющего на него количественного фактора.

Проведено тестирование работы программного комплекса на имитационных данных и проанализированы результаты при различных значениях силы связи.

Литература

1. Айвазян С. А. и др. Прикладная статистика: Исследование зависимостей. — М.: Финансы и статистика, 1985
2. Фомин Г. А., Фомина Е. С. Метод формирования имитационных данных по когнитивной модели объекта управления. — «Вестник МЭИ», № 5, 2017
3. Фомин Г. А., Фомина Е. С. Метод преобразования шкалы представления фактора с учетом связи с другими факторами. — Труды XXI международной научно-технической конференции «Информационные средства и технологии». В 3-х томах. Т. 1. — М.: Издательский дом МЭИ, 2013, с. 170–177

*С. П. Мазуркевич, студ.; рук-ли Т. В. Ягодкина, к.т.н., проф.;
М. Ю. Косинский, к.т.н. ст. преп. (НИУ «МЭИ», ФГУП МОКБ «Марс»)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПЕРАТИВНОЙ АКТУАЛИЗАЦИИ КОДОВЫХ КОМАНД КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Кодовые команды (КК) — это командно-программная информация (КПИ), передаваемая из наземного комплекса управления (НКУ) в бортовой комплекс управления космического аппарата (БКУ КА) [1], которая задает режимы функционирования.

КПИ из НКУ на борт КА передается в виде кадров (посылок) через бортовую аппаратуру командно-измерительной системы в БВУ [1].

Все КК различаются по функциональному назначению. Среди общего перечня команд можно выделить КК для записи данных в ОЗУ БВУ по заданному внутреннему адресу.

Обновление бортового программного обеспечения (БПО) часто приводит к изменению адресов размещения отдельных переменных в ОЗУ БВУ. Поэтому, закодированная до обновления версии БПО КК может изменить свой физический смысл и привести к возникновению нештатной ситуации.

Таким образом, важной представляется задача разработки методики оперативного выявления КК, не соответствующих текущей версии БПО, и перекодировки в автоматическом режиме без участия оператора.

Указанную задачу предложено решать путем анализа распределения переменных в ОЗУ БВУ для каждой версии БПО и информации, содержащейся в КК. Предложенная методика реализована в виде приложения, встроенного в автоматизированную информационную систему конструкторского бюро «Марс» и успешно апробирована в условиях отработки БПО.

Использование разработанной методики позволило исключить исполнение некорректных КК и повысить надежность функционирования БКУ КА.

Литература

1. Бортовые системы управления космическими аппаратами: Уч. пособие / Бровкин А. Г., Бурдыгов Б. Г., Гордийко С. В. и др. Под ред. А. С. Сырова — М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010.

*О. С. Медникова, аспирант, Е. Ю., Ситникова, студентка;
рук. Д. Н. Анисимов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА ВХОДНОГО СИГНАЛА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИНТЕГРАЛЬНО- МОДУЛЯЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

Доклад посвящен исследованию точности оценивания параметров динамических объектов при идентификации интегрально-модуляционными методами. В настоящее время известно три метода данного класса: метод Симою (МС) [1], метод модулирующих функций (ММФ) [2] и метод экспоненциальной модуляции (МЭМ) [3]. При проведении активной идентификации обычно возникает вопрос о выборе входного сигнала, обеспечивающего наилучшие оценки параметров. МС в этом отношении является исключением, поскольку он работает только при ступенчатом входном сигнале. Поэтому в докладе рассматриваются только ММФ и МЭМ.

Исследования проводились для сигналов следующих видов:

- ступенчатый сигнал;
- гармонический сигнал;
- пилообразный сигнал;
- меандр;
- белый шум, распределенный по нормальному закону.

В качестве критерия точности было принято среднеквадратическое отклонение (СКО) между сигналами на выходах объекта и модели:

$$\sigma = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y_o(i \Delta t) - y_m(i \Delta t)]^2, \quad (1)$$

где $y_o(i \Delta t)$, $y_m(i \Delta t)$ — сигналы на выходах объекта и модели соответственно в i -й момент времени, Δt — интервал дискретизации, N — количество отсчетов.

Полученные для объектов различной структуры результаты свидетельствуют, что для ММФ наилучшие оценки обеспечивают ступенчатый сигнал и белый шум, для МЭМ — ступенчатый и гармонический сигналы.

Литература

1. **Симою М. П.** Определение коэффициентов передаточных функций линеаризованных звеньев систем регулирования // Автоматика и телемеханика. — 1957. — № 6. — С. 514–527.
2. **Shinbrot M.** On the analysis of linear and nonlinear systems // Trans. ASME. — 1957. — Vol. 79. — No. 3. — Pp. 547–542.
3. **Анисимов Д. Н.** Идентификация линейных динамических объектов методом экспоненциальной модуляции // Вестник МЭИ. — 1994. — № 2. — С. 68–72.

Ю. А. Млюкова, студентка;
рук. Д. Н. Анисимов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОСТОЯННЫХ ВРЕМЕНИ МОДУЛИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ НА ТОЧНОСТЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Доклад посвящен исследованию статистических характеристик оценок параметров динамического объекта при его идентификации методом экспоненциальной модуляции. Метод основан на перемножении входного и выходного сигналов объекта на специально формируемые модулирующие функции (МФ) вида

$$\psi(t) = \exp(-t/\theta) \quad (1)$$

и вычислении площадей под образованными кривыми [1]. Количество МФ должно быть равно количеству неизвестных параметров объекта. Далее задача сводится к составлению и решению системы линейных уравнений.

Основным источником погрешности является помеха $\eta(t)$, действующая на объект. Точность определения оценок параметров объекта во многом определяется условиями эксперимента: временем наблюдения, интервалом дискретизации и постоянными времени модулирующих функций (ПВМФ) θ_j . С одной стороны, ПВМФ нельзя выбирать слишком малыми, поскольку значения вычисляемых площадей в этом случае будут малоинформативными за счет большого удельного веса случайной составляющей. С другой стороны, они не должны быть слишком большими, иначе модулирующие функции не успеют затухнуть к моменту окончания наблюдения процесса, и при вычислении оценок появится регулярная погрешность. Таким образом, очевидно, должен существовать некоторый диапазон ПВМФ, обеспечивающий лучшие в определенном смысле оценки. При исследованиях влияния ПВМФ на точность идентификации, проводимых ранее [2], варьировалась только одна ПВМФ, а остальные были жестко к ней привязаны. В частности, остается не выясненным вопрос о пределах близости ПВМФ друг другу.

В данном докладе приводятся результаты исследований точности оценивания параметров объекта второго порядка при изменении обеих ПВМФ в достаточно широких пределах.

Литература

1. Анисимов Д. Н. Идентификация линейных динамических объектов методом экспоненциальной модуляции // Вестник МЭИ. — 1994. — № 2. — С. 68–72.
2. Анисимов Д. Н., Хрипков А. В. Законы распределения оценок параметров динамических объектов при идентификации методом экспоненциальной модуляции // Проблемы управления. — 2007. — № 4. — С. 14–18.

*В. В. Мурунова, студент;
рук. Л. В. Плотникова, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И ВЫБОРА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

На сегодняшний день актуальной проблемой в промышленных технологических системах является наличие значительных потерь тепловой энергии в виде сбрасываемых в окружающую среду потоков, являющихся при этом и резервами энергосбережения. Специалисты на производстве могут применять разнообразное утилизационное оборудование, позволяющее вернуть эти потоки обратно в систему. Однако вариантов утилизационных систем может быть множество в силу масштабов существующих производств. Следовательно, выбрать наилучший вариант энергосберегающего мероприятия сложно.

Таким образом, для быстрого перебора всех возможных вариантов энергосберегающих промышленных систем актуальна разработка программного обеспечения (ПО). При разработке ПО возникает необходимость использования актуальных методик анализа для упорядочивания расчетов сложных систем [1]. Это обусловлено значительным количеством возвратных связей-потоков энергии, которые превращают технологическую линию в многоконтурную сложноструктурированную схему. Для того, чтобы избежать итераций, предлагается использовать вариант системного анализа — структурный анализ, алгоритм которого включает: выделение путей, связывающих пару аппаратов системы; выделение комплексов аппаратов и циклов; разрыв циклов, и превращение замкнутой системы в разомкнутую; упорядочивание вершин разомкнутой системы и построение ее вычислительной последовательности [2]. Затем добавляется модуль термодинамического анализа, где производится расчет системы в соответствии с определенной последовательностью, осуществляется оценка системы с включением утилизационного оборудования.

Предлагаемое ПО позволяет выбрать наиболее энергоэффективный вариант промышленной системы и скорректировать критерии ее выбора.

Литература

1. **Островский Г.М., Зиятдинов Н.Н., Лаптева Т.В.** Оптимизация технических систем. М: КНОРУС, 2012.
2. **Плотникова Л.В., Петрова О.Г., Плотников В.В.** Построение расчетной модели сложноструктурированной теплотехнологической схемы нефтехимического производства // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2010. № 9–10.

*И. А. Наумов, студ.; рук-ли М. Ю. Косинский, к.т.н., ст. преп.,
М. Ю. Щелыкалин, вед. инж. (НИУ «МЭИ», ФГУП МОКБ «Марс»)*

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЯМИ К БОРТОВОМУ КОМПЛЕКСУ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Техническое задание (ТЗ) является основным документом, по которому осуществляется разработка бортового комплекса управления космического аппарата (БКУ КА). В нем описываются требования, предъявляемые к разрабатываемому комплексу. ТЗ может дополняться различными приложениями и документами, в свою очередь, содержащие требования.

По результатам разработки БКУ КА проводятся его испытания на предмет выполнения всех требований ТЗ. Однако при большом количестве требований (>100) существует вероятность неучета какого-либо из них при испытаниях.

В процессе разработки БКУ КА, требования ТЗ могут быть дополнены, изменены или отменены.

В результате актуальной становятся задачи отслеживания изменений требований на протяжении всего этапа разработки системы, сопоставления требований и проведенных испытаний, контроля проверки требований разработчиками системы.

Указанные задачи могут быть решены за счет использования системы управления требованиями (СУТ). Анализ применяемого в МОКБ «Марс» программного обеспечения показал, что СУТ можно разработать как часть уже существующей системы управления проектами в среде серверного веб-приложения Redmine.

По результатам анализа нормативной документации, существующего процесса разработки и испытаний БКУ КА и его особенностей, разработана структурная схема организации хранения информации о требованиях в СУТ, и разработан прототип системы для отработки основных задач.

Литература

1. **Элизабет Халл, Кен Джексон, Джереми Дик** Разработка и управление требованиями / Пер., с англ. — М.: Издательство «Telelogic», 2002.
2. **Вигерс Карл** Разработка требований к программному обеспечению / Пер., с англ. М.: Издательство-торговый дом «Русская Редакция», 2004.

*И. Ю. Неуступов, студент;
рук. О. Ю. Марьясин, к.т.н., доц. (ЯГТУ, Ярославль)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ ЗДАНИЯ

Для анализа энергопотребления и функционирования инженерного оборудования офисных зданий автором была разработана компьютерная модель в системе AnyLogic [1]. Одной из основных причин, по которой была выбрана система AnyLogic, это то, что она включает пешеходную библиотеку для моделирования движения пешеходов (людей) в физическом пространстве. Область, по которой движутся пешеходы, разделена на зоны. При попадании пешеходов в зону, в зависимости от интенсивности наружного естественного освещения, срабатывает датчик присутствия и зажигается соответствующая группа светильников. Пешеходы, попавшие в помещения могут задерживаться там на различное время, включать различные офисные или бытовые электроприборы. Работа системы электрообеспечения здания моделировалась с помощью средств пешеходной библиотеки, программирования на языке Java и простых диаграмм состояний. Моделирование микроклимата в помещениях производилось на основе уравнений теплового и материального баланса помещения и выполнялось с помощью палитры компонентов «Системная динамика» системы AnyLogic. При этом учитывались бытовые тепло-, влаго- и газовойделения, связанные с людьми, работой оборудования и электроприборов.

Работа системы отопления, вентиляции и кондиционирования моделировалась путем изменения расхода тепла от отопительных приборов и расхода свежего воздуха так, чтобы обеспечить требуемый микроклимат в помещениях (температуру, влажность, концентрацию CO₂) при минимуме затрат тепла и электроэнергии. Это возможно за счет использования специальных законов автоматического управления микроклиматом и периодического, когда это возможно, отключения или снижения мощности климатического оборудования (насосов, вентиляторов).

С разработанной компьютерной моделью были проведены численные эксперименты для различных значений параметров модели. Модель позволяет исследовать зависимость энергопотребления от интенсивности человекопотока в коридорах и на лестничных клетках, числа людей в помещениях, количества включенных светильников и электроприборов, внешних метеорологических факторов и применяемых алгоритмов автоматического управления.

Литература

1. AnyLogic — инструмент многоподходного имитационного моделирования [Электронный ресурс]. URL: <http://www.anylogic.ru/>.

А. А. Новиков, Н. И. Гребенщиков, студенты; рук. Д. А. Шестов, вед. инж., Д. В. Шилин, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА УЧЕБНОЙ СТАНЦИИ ОПЕРАТОРСКОГО СТОЛА ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

В данной работе была разработана система управления дизель-генератором с помощью Scada — системы Citect Version 7.20 Service Pack 5 Rev A.

Работа проводилась в следующие этапы:

- Монтаж и пуско-наладка виртуального технологического процесса управления дизель-генератором;
- Разработка сценариев аварийных и предупредительных сигнализация и способы их предотвращения [1].

В состав установки вошли персональный компьютер с установленной Scada — системой, компьютер с установленной средой программирования CodeSys 2.3, коммутатор, программируемый логический контроллер и лабораторный стенд.

На рис. 1 показан лабораторный стенд, состоящий из ПЛК, ламп индикации аварий, кнопок, имитирующие весь спектр возможных сигнализаций. Главная мнемосхема лабораторного стенда состоит из 4 дизель-генераторов.

В программной среде CodeSys 2.3 на языках программирования стандарта ЕС 61131-3 (МЭК 61131-3) была разработана программа для учебной станции. Данная программа имеет следующий функционал: управление механическими элементами станции, управление режимами дизель-генератора, детектирования аварий, а также внедрена возможность ручного управления всей станции при помощи управляющей панели.

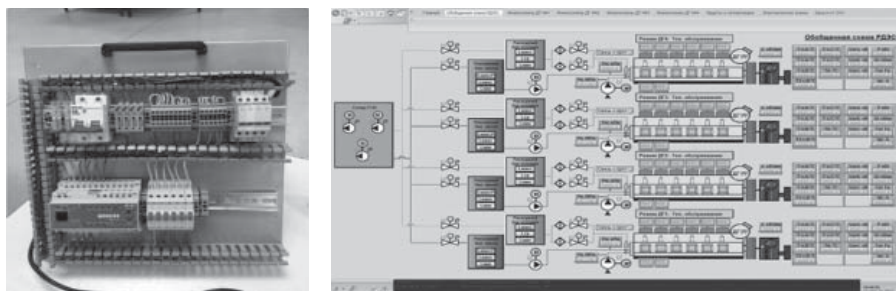


Рис. 1. Внешний вид учебного стенда и главной мнемосхемы

Литература

1. **Смурнов Е. С.** Автоматизация и диспетчеризация систем электроснабжения. — М.: Лаборатория книги, 2010.

*О. И. Парфенова, студентка;
рук. О. С. Колосов, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗОМКНУТОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ

Разработка методов анализа и синтеза систем автоматического управления исторически неразрывно связана с использованием асимптотических логарифмических амплитудно-частотных характеристик (ЛАЧХ) для систем в разомкнутом состоянии [1]. Подобные характеристики удается построить достаточно точно для маломощных следящих систем. Именно для них разработаны алгоритмы синтеза корректирующих устройств последовательных и в обратных связях по скорости и току управления двигателем. Однако для систем промышленной автоматики и современных силовых приводов с микропроцессорным управлением получение характеристик разомкнутой системы, как правило, оказывается затруднительным, так как исследование динамики подобных систем допускается только в замкнутом состоянии. Практика оценки частотных свойств системы в разомкнутом состоянии по экспериментальным характеристикам в замкнутом состоянии вызывает известные и определенные трудности [2].

В докладе рассматривается один из возможных вариантов оценки параметров передаточной функции разомкнутой следящей системы с микропроцессорным управлением по экспериментально снятым характеристикам ее в замкнутом состоянии. Предполагается, что при оценке параметров разомкнутой системы ее порядок не превышает третьего и в составе содержится интегрирующее звено. Для построения асимптотической ЛАЧХ разомкнутой системы необходимо оценивать общий коэффициент разомкнутой системы и две постоянные времени аperiodических звеньев. Исходным материалом для решения подобной задачи являются экспериментально снятые ЛАЧХ замкнутой системы. При этом микропроцессорный ПИД-регулятор системы работает как П-регулятор. Обрабатываются как минимум две ЛАЧХ для двух значений коэффициента передачи регулятора. Методика оценки параметров передаточной функции разомкнутой системы отработалась как на модельных примерах, так и на макете следящей системы с микропроцессорным ПИД-регулятором.

Литература

1. **Теория автоматического управления:** учебник для втузов / под общ. ред. А. В. Нетушила; [Л. С. Гольдфарб, А. В. Балтрушевич, Г. К. Круг и др.]. — М.: Высш. шк., 1968.
2. **Ротач В. Я.** Теория автоматического управления. М.: Издательство МЭИ. 2004.

*А. Д. Пронин, аспирант;
рук. О. С. Колосов, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ПОСТРОЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ИМПУЛЬСНЫХ ТЕСТИРУЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Импульсные тестирующие воздействия для целей идентификации динамических объектов используются значительно реже, чем традиционные ступенчатые, гармонические или псевдослучайные сигналы. Соответственно и теоретические аспекты применения импульсных сигналов для идентификации практически отсутствуют. Вместе с тем применение импульсных тестирующих сигналов может позволить существенно сократить время идентификации в системах с адаптивными регуляторами за счет одновременного учета действия ансамбля гармоник спектра входного сигнала на объект. В офтальмологии серии практически прямоугольных (для глаза) световых вспышек определенных частот, воздействующих на сетчатку, позволяют оценивать частотные свойства последней и, на основе анализа получающихся амплитудно-частотных характеристик, получать дополнительные признаки патологий, используемых при построении экспертных систем диагностики [1, 2]. Вместе с тем в литературе отсутствуют проработки общих вопросов параметрической идентификации динамических объектов при импульсных тестирующих сигналах и, в частности, оценки их частотных характеристик.

В докладе рассматриваются вопросы построения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) динамических объектов, учитывающие спектры входного импульсного воздействия и выходного сигнала на ограниченном интервале наблюдения. Находятся зависимости погрешностей оценок точек АЧХ от параметров объекта и времени наблюдения. Даются рекомендации по выбору параметров импульса, времени наблюдения, а также по выбору частоты следования импульсов при тестировании импульсной последовательностью. Доклад подготовлен при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-01-00054а).

Литература

1. **Колосов О. С., Баларев Д. А., Пронин А. Д., Зуева М. В., Цапенко Ц. В.** Оценка частотных свойств динамического объекта с использованием импульсных тестирующих сигналов // Мехатроника, автоматизация, управление, Т. 18, 2017, № 4. — С. 219–226.
2. **Колосов О. С., Короленкова В. А., Пронин А. Д.** Построение амплитудно-частотных характеристик сетчатки глаза и формализация их параметров для использования в системах диагностики // Интеллектуальные системы, управление и мехатроника — 2017: Материалы Всероссийской научн.-техн. конф., Севастополь 18–20 сентября 2017 г. / МОН РФ, СевГУ [науч. ред. Барabanов А. Т.] — Севастополь: [Изд-во СевГУ], 2017 — С. 175–178.

Д. А. Шестов, соискатель;
рук. Д. В. Шилин, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ МАССОВОГО РАСХОДА ОТ СКОРОСТИ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЫ ПОТОЧНОГО РАСХОДОМЕРА-ДОЗАТОРА

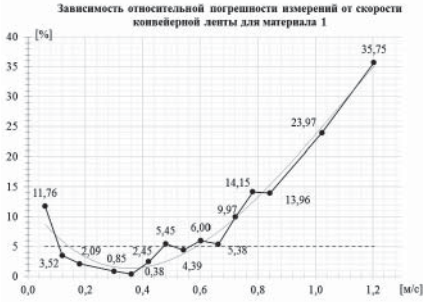


Рис. 1. Зависимость относительной погрешности измерений от скорости конвейерной ленты для материала 1

Для оценки погрешности измерений при взвешивании различных сыпучих материалов были проведены эксперименты и, используя полученные данные, был построен график зависимости относительной погрешности измерений от скорости конвейерной ленты (рис. 1).

На рис. 1 пунктирной линией отображен 5% граница допустимой погрешности измерений.

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы:

- С увеличением скорости конвейерной ленты увеличивается ошибка измерения. Это обусловлено в первую очередь из-за оказываемого динамического воздействия движущихся механических частей устройства (вал электрического двигателя, вал конвейера, ременная передача и др.).
- Распределение взвешиваемого материала вдоль оси взвешивания не оказывает существенного влияния на ошибку измерения [1]. Влияние неравномерности распределения материала на конвейерной ленте полностью исключено уникальным алгоритмом работы измерительной системы поточного расходомера-дозатора (одновременный анализ показаний двух тензометрических датчиков).

Литература

1. Першина С. В., Каталымов А. В., Однолько В. Г., Першин В. Ф. Весовое дозирование зернистых материалов. — М.: Машиностроение, 2009. — 260 с.

*В. Д. Шорин, студент; рук. Д. А. Шестов, вед. инж.,
Д. В. Шилин, к. т. н., асс. (НИУ «МЭИ»)»*

МНОГОПОЗИЦИОННЫЙ РОБОТ ФОРМАТА OMNI-DRIVE

Сегодня в мире используются миллионы роботов. Применение им нашлось практически во всех сферах человеческой деятельности. На производстве работают сотни тысяч роботов. Роботы в промышленности выполняют как основные, так и вспомогательные работы. Так, применение роботов позволяет освободить человеческие ресурсы от загрузочных работ, обслуживания станков и т.п. Выступая в качестве основного технологического оборудования, роботы проводят точечную и шовную сварку, лазерную и плазменную резку, сборку и т.д. Применение промышленных роботов ничем не ограничено: есть как стационарные, так и мобильные машины. Мобильные (движущиеся) робототехнические системы обеспечивают автоматическое перемещение полезной нагрузки в пространстве. Могут иметь запрограммированный маршрут движения и (или) автоматическое адресование цели. В промышленности указанные системы применяются для обслуживания складов, межцехового и внутрицехового транспортирования материалов, деталей, инструмента и оснастки. Такие подвижные роботы часто оснащаются манипуляторами [1].

В ходе выполнения магистерской работы, был спроектирован робот на основе немецкой разработки от фирмы Festo Didactic. Данный робот оборудован 3 колесами типа omni-drive (рис. 1), 3 двигателями постоянного тока, инкрементами энкодерами и датчиками. На основе 32-битного микроконтроллера ARM была построена управляющая система. В прошивку микроконтроллера была заложена кинематическая модель робота. Был настроен ПИ-регулятор.

Результатом проделанной работы было: движение робота в определенную координату, а также движение робота по окружности с поворотом вокруг своей оси. Точность позиционирования высока, рассогласование не более 1.5% от цели.

Актуальность данной работы обусловлена тем, что, исходя из политико-экономической ситуации в мире, требуются российские аналоги и новые разработки в данной отрасли.



Рис. 1. Колесная база многопозиционного робота

Литература

1. Hwan Kim, Fakhri Karray, Jun Jo, Peter Sincak, Hyun Myung. Robot Intelligence Technology and Applications Jong 2016. 610 с.

*А. И. Смирнов, студент; рук. С. С. Логинов, д.т.н., проф.
(КНИТУ – КАИ им. А. Н. Туполева, Казань)*

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ С ДИНАМИЧЕСКИМ ХАОСОМ

Известно, что существует большое разнообразие систем с динамическим хаосом. В одном случае хаос необходим для корректной работы всей системы (например, прямохаотическая система передачи информации), в другом наоборот вреден (например, гравировочный лазер). В таком случае, естественным образом возникает задача диагностики системы по ее сигналам и принятия решения о возможной корректировке ее параметров.

Одним из методов диагностики систем с динамическим хаосом являются негармонические дробно-степенные спектры, описанные в работе [1].

Задача принятия решения в таком случае сводится к кластеризации полученных негармонических спектров для разных режимов системы и соотнесения этих кластеров с целевыми классами, по которым возможна дальнейшая корректировка параметров системы. Для решения этой задачи отлично подходит LVQ нейронная сеть.

В данной работе построена математическая модель LVQ нейронной сети, проведено ее обучение с использованием негармонических спектров для разных динамических переменных систем Лоренца, Чуа, Анищенко–Астахова, Дмитриева–Кислова. Проверка стабильности работы нейронной сети осуществляется добавлением шума к обучающей выборке данных и усреднением количества ошибок по количеству экспериментов, результаты этого приведены в таблице.

Таблица 1. Результат проверки стабильности нейронной сети

$3\sigma/X$	0.1	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
Вероятность ошибки	0	0	0,009	0,045	0,109	0,209	0,472

где: $3\sigma/X$ — нормализованное относительно обучающей выборки утроенное с.к.о. шума с мат. ожиданием в нуле.

Анализ таблицы показывает, что нейронная сеть способна решить данную задачу в случае, когда доверительный интервал выборки меньше половины от ее максимального значения.

Литература

1. **Афанасьев В. В., Логинов С. С.** Многомерные негармонические спектры в диагностике управляемых формирователей псевдослучайных сигналов на основе систем с динамическим хаосом // Инфокоммуникационные технологии, Том 12, № 2, 2013.

*А. Г. Соболева, студ.; рук-ли Е. Ю. Сидорова, ст. преп.,
М. Ю. Косинский, к.т.н, ст. преп.
(НИУ «МЭИ», ФГУП МОКБ «Марс», Москва)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ

В докладе рассматривается задача разработки системы автоматизированного тестирования системы учета и контроля корреспонденции предприятия.

Существует несколько видов тестирования программных систем (производительности, нагрузочное, стрессовое, безопасности и т. д.), среди которых одним из наиболее важных является функциональное. При таком виде тестирования приложение рассматривается как «черный ящик» и проверяются его реакции на действия со стороны пользователя [1], что позволяет до ввода в эксплуатацию провести имитацию фактического использования приложения, выявить и устранить возможные ошибки.

Действия пользователей задаются в виде тестовых сценариев, каждый из которых предполагает проверку одной или нескольких определенных функций приложения. Тестирование может осуществляться вручную (человеком по заданному сценарию) или быть автоматизированным (с использованием программных средств).

Автоматизированный подход обладает рядом преимуществ: отсутствует влияние «человеческого фактора», гарантируется повторяемость тестов, сокращается время на выполнение тестовых сценариев. Таким образом, разработка сценариев, охватывающих весь перечень задач, выполняемых приложением, а также выбор наиболее подходящей программной среды, позволяющей проводить автоматизированное тестирование, представляется актуальной задачей.

В результате выполненных исследований разработан подход по созданию полного перечня сценариев тестирования. Произведен анализ существующих программных средств, и выбрана программная среда Eclipse, в которой реализована система автоматизированного тестирования. Проведена апробация выполненной разработки при испытаниях системы учета и контроля корреспонденции в МОКБ «Марс».

Литература

1. **Синицын С. В., Налютин Н. Ю.** Верификация программного обеспечения. — М.: Интернет-Университет Информационных Технологий. БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.
2. **Блейзер Б.** Тестирование черного ящика. Технологии. Функциональное тестирование программного обеспечения и систем. — СПб.: Питер, 2004.

О. А. Верзилина, студентка;
рук. Е. Д. Маршалов, к. т. н. (ИГЭУ, Иваново)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ ГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ

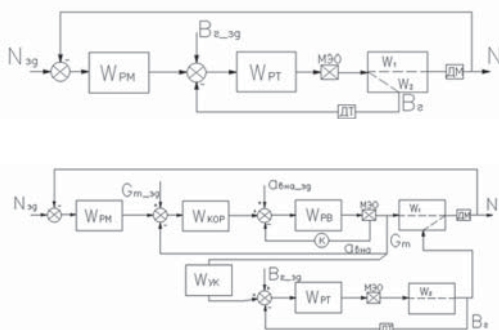


Рис. 1. Схемы автоматического регулирования:
1 — АСР с учетом сигнала по расходу топлива;
2 — АСР с учетом сигнала по расходу топлива
и массовому расходу воздуха

турный синтез объекта управления и параметрическая оптимизация автоматических систем регулирования, входящих в АСУТП.

Проведено исследование типовой схемы регулирования мощности с учетом сигнала по расходу топлива и усовершенствованной схеме с учетом сигнала по массовому расходу воздуха (рис. 1). Усовершенствованная схема регулирования позволяет уменьшить динамическую ошибку на 72%, а также уменьшить время регулирования на 24%.

Литература

1. **Тверской Ю. С.** Локальные системы управления: Учеб.-метод. Пособие / ФГБОУВПО «Ивановский Государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». — Иваново, 2011. — 128 с.
2. **Муравьев И. К.** Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук «Совершенствование систем управления газотурбинными установками энергоблоков при изменяющихся режимах и климатических факторах». — Иваново, 2016. — 215 с.

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП) — это комплекс программных и технических средств, предназначенный для автоматизации управления технологическим оборудованием на предприятиях.

Целью данной работы является разработка АСУТП мощностью газотурбинной установки при помощи средств «VisSim» и «TempSystem». Для решения этой задачи была разработана имитационная модель ГТУ и выполнен струк-

*Д. П. Ярушко, студент;
рук. Г. Ф. Филаретов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ИНТЕРВАЛА КОРРЕЛЯЦИИ СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА С ЕГО ТРАЕКТОРНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

При экспериментальном определении различных характеристик случайных процессов (СП) необходимо выбрать интервал наблюдения T , обеспечивающий требуемую точность оценивания. Такой выбор затруднен, если неизвестна скорость затухания корреляционной функции (КФ), обычно характеризующая с помощью интервалов корреляции τ_k и квадратичной корреляции $\tau_{к.кв}$ [1]. Поэтому желательно хотя бы приближено оценить τ_k или $\tau_{к.кв}$, но без оценки самой корреляционной функции. Для этой цели можно попытаться использовать простейшие характеристики типа среднего количества «нулей» \bar{N}_0 в реализации СП, среднего числа экстремумов $\bar{N}_э$ или точек перегиба $\bar{N}_п$ [2]. Целью исследования является установление связи интервалов τ_k и $\tau_{к.кв}$ с указанными траекторными характеристиками.

Метод исследования — имитационный эксперимент, в ходе которого многократно осуществлялась генерация реализаций СП с различными КФ как монотонно затухающего, так и колебательного типа. Для каждой такой реализации определялись значения τ_k , $\tau_{к.кв}$, \bar{N}_0 , $\bar{N}_э$, $\bar{N}_п$, после чего результаты отображались на соответствующей плоскости с тем, чтобы получить наглядное представление о наличии или отсутствии некоторой систематической связи между τ_k , $\tau_{к.кв}$ и \bar{N}_0 , $\bar{N}_э$, $\bar{N}_п$. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- для КФ монотонно-затухающего и слабоколебательного типов прослеживается четкая связь между τ_k и $\bar{N}_э$. С помощью метода нелинейного оценивания, получена формула, адекватно описывающая эту связь: $\tau_k = 0,2 + 30,0 \cdot \exp(-11,2\bar{N}_э)$; коэффициент множественной корреляции $R=0,972$;
- аналогично для КФ ярко выраженного колебательного типа прослеживается четкая связь между $\tau_{к.кв}$ и $\bar{N}_э$, которая адекватно описывается формулой: $\tau_{к.кв} = 1,1 + 31,2 \cdot \exp(-14,7\bar{N}_э)$ при значении $R=0,988$.

Полученные результаты могут быть использованы на этапе планировании экспериментов по анализу свойств стохастических сигналов.

Литература

1. **Мирский Г. Я.** Аппаратурное определение характеристик случайных процессов. — 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Энергия, 1972. — 456 с.
2. **Тихонов В. И.** Выбросы случайных процессов. — М.: Наука, 1970. — 392 с.

*Б. А. Юматов, студент;
рук. М. М. Полотнов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЛОКОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ЗВЕЗД НА ОСНОВАНИИ ТЕЛЕМЕТРИИ С КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ «РЕСУРС» И «БАРС-М»

Одной из важнейших составляющих космического аппарата являются приборы, осуществляющие определение ориентации относительно инерциальной системы координат. Для этой цели на околоземной орбите используются блоки определения координат звезд.

Данное исследование заключается в разработке и апробации модернизированных версий бортовых звездных каталогов и алгоритмов распознавания на основании полученной телеметрии.

Анализ полученных данных о ходе работы блоков определения координат звезд в течение годового цикла полета выявил ряд существенных для целей геопривязки систематических и случайных погрешностей в определении ориентации, связанных с особенностями восприятия звезд оптической системой прибора, а также работой остальных его компонент в космических условиях.

Разработанный программный комплекс обработки и хранения телеметрической информации позволил собрать обширную статистику по звездам, что дало возможность скорректировать их координаты, а также составить распределение звездной величины относительно интегральной яркости звезды на фотоматрице по достаточно большой выборке, что позволяет рассмотреть вопрос об ее учете при распознавании участка звездного неба. Кроме того, было выявлено, что влияние радиации и солнечных вспышек вызывает появление битых пикселей на фотоматрице, которые в некоторых случаях воспринимались прибором как звезды, что в конечном итоге давало неверную информацию об ориентации. Разработанная усовершенствованная версия алгоритма распознавания позволит в дальнейшем избежать подобных сбоев.

Полученные результаты так же помогут повысить скорость распознавания и точность геопривязки.

*А. К. Зарлыкканова, магистрант.; рук. А. Д. Золотов, к.т.н., доцент
(ГУ имени Шакарима г. Семей, г. Семей)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА УСПЕВАЕМОСТИ И ОПЛАТЫ ОБУЧЕНИЯ В УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ

В настоящее время в системе образования интенсивно развиваются информационные ресурсы, которые включают организационную инфраструктуру, телекоммуникационные сети, наполняемость базы данных, а также программные средства поддержки деятельности структурных подразделений и образовательного процесса вуза.

Для дальнейшего улучшения системы обеспечения качества образования возникла необходимость автоматизировать процесс обеспечения информационной поддержки деятельности вуза.

Целью данной работы является разработка автоматизированной системы управления, обеспечивающей оперативный доступ к текущей успеваемости и своевременному отслеживанию выплат обучающимися вуза. Реализация данной цели во многом зависит от правильности созданий баз данных и применения программных средств автоматизации.

Для эффективной работы системы мониторинга были:

- сформулированы актуальные цели и задачи системы мониторинга;
- проведен анализ необходимых подпроцессов образовательного процесса вуза (учет успеваемости студентов, формирование ведомостей, учет оплаты обучающихся за обучение, формирование отчетов о состоянии оплаты в течение семестра, отчетов по должникам);
- выбрана интегрированная среда разработки Delphi 7 для WINDOWS — приложений;
- разработана база данных.

Разработанная система мониторинга призвана обеспечить заинтересованных сторон объективной и достоверной информацией, провести ее анализ, повысить качество принимаемых управленческих решений.

Литература

1. **Марченко Ю. Н., Шишкин К. П., Капский Е. В.** — Новокузнецк. Управление планированием и организацией учебного процесса. Автоматизированная информационная система. Руководство пользователя. / 2004. — 43 с.
2. **Морозов Б. И.** «Информационные системы как фактор совершенствования качества образования», Научные технологии образования, Межвузовский сборник научно-методических трудов № 6, изд-во СПбГПУ, 2003.

*И. В. Жандарский, студент;
рук. В. А. Шихин, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГИБРИДНЫМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО НАДВОДНОГО СУДНА

Беспилотные надводные суда (БПНС) выполняют, как правило, важные задачи без прямого участия человека. Автономность есть одна из важнейших характеристик данного типа объектов, что необходимо учитывать при проектировании. Проблема автономности во многом связана с ограниченным запасом энергоресурсов на борту и, как следствие, ограниченное время функционирования и снижение работоспособности.

Использование альтернативных источников энергии является перспективным решением данной проблемы и одним из способов решения выступает преобразование солнечной энергии в электроэнергию. Наибольшая плотность потока солнечного излучения, приходящего на Землю, составляет примерно 1 кВт/м^2 [1]. Эффективность получения электроэнергии с солнечных панелей напрямую связана с географическим положением, погодными условиями, временем года и суток [2]. Дополнительным фактором повышения энергоэффективности солнечных панелей является применение механизма отслеживания положения солнца, что также особенно важно для мобильных БПНС часто и быстро изменяющих курс движения. Немаловажной частью автономной системы энергоснабжения с солнечными панелями являются энергонакопители. При проектировании системы солнечного электроснабжения важно учитывать противоречивые требования к аккумуляторным бортовым батареям, а именно: требуется повышенная емкость при ограничениях на вес, устойчивость к заряду/разряду, количество рабочих циклов и др. [3].

В докладе рассматривается разработанное техническое решение по созданию гибридной системы энергоснабжения БПНС. Представлены расчеты выработки электроэнергии с солнечных панелей, исследованы алгоритмы переключения нагрузок между дизельным генератором и аккумуляторными батареями-накопителями, исследована возможность применения «следающих» солнечных панелей, предложены способы диагностирования жизненно важных узлов судна и устранения неисправностей.

Литература

1. **Харченко Н. В.** Индивидуальные солнечные установки // Изд. Энергоатомиздат — 1991. — стр. 8–15.
2. **Виссарионов В. И., Дерюгина Г. В., Кузнецова В. А.** Солнечная энергетика // Издательский Дом МЭИ — 2008. — стр. 13–15.
3. **Иванчура В. И., Чубарь А. В., Пост С. С.** Энергетические модели элементов автономных систем электропитания // М.: Журнал СФУ, 2012.

Секция 18

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Председатель секции — к.т.н., профессор Ю.А. Казанцев

Секретарь секции — к.т.н., зав. каф. ЭФИС, С.В. Вишняков

*В. А. Буров, асп.: рук-ли В. Б. Кузнецов, д.т.н., проф.,
Е. Е. Корочкина, к.т.н., доц. (ИВГПУ, Иваново)*

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЯ СТЕПЕНИ ПРОПИТКИ ВОЛОКНИСТЫХ СИСТЕМ

Значительный объем текстильных материалов традиционно подвергается жидкостной обработке с использованием подогрева различных технологических растворов глхим или острым паром. В силу плохой смачиваемости водой поверхности материалов, вырабатываемых как из природных так и из смесей с синтетическими волокнами, возникает необходимость с одной стороны интенсификации этого процесса, а с другой — оперативного контроля степени их пропитки [1].

На основе математического моделирования процесса движения жидкости в капиллярно-пористом теле в работе предложены два метода определения степени пропитки — электронный и весовой, и для их реализации разработаны соответствующие лабораторные установки. Выявлено, что электронный аппаратно-программный комплекс, обеспечивая высокую эффективность, имеет ряд ограничений, основным из которых является снижение точности измерений при увеличении скорости пропитки, которое неизбежно возникает при использовании различных физических и химических интенсификаторов данного процесса. В этой связи предложено использовать для оценки степени пропитки наиболее распространенный весовой метод. Для его реализации создана лабораторная установка. Экспериментальные данные фиксировались тензометрическими весами в реальном времени и обрабатывались программой, написанной в среде MatLab, а полученная информация выводилась на экран ПК для оператора.

Предложенные аппаратно-программные комплексы были использованы для получения результатов по степени пропитки суровой хлопчатобумажной ткани без интенсифицирующего воздействия и с использованием в качестве интенсифицирующего воздействия ультразвуковых колебаний. По результатам экспериментов предложенные комплексы могут быть использованы для оперативного контроля степени пропитки волокнистых текстильных материалов при их обработке.

Литература

1. Герасимов М. Н. Пропитка тканей: теория процесса, технология, оборудование. — Иваново: ИГТА, 2002 г., 175 с.

*Е. А. Соколова, студент;
рук. С. В. Вишняков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ НА ТРЕУГОЛЬНЫХ СЕТКАХ



Рис. 1. Оригинал изображения, результат аппроксимации по вершинам, результат МНК

наименьших квадратов (коэффициенты рассчитываются с условием минимизации СКО в треугольнике). Для оценки потерь качества изображения при его сжатии используются ПОСШ и УИК (универсальный индекс качества). [1]

Оригинал некоторого изображения, а также результаты его обработки реализованными алгоритмами, представлены на рис. 1.

Изначально сетка состояла из неправильных треугольников, но для упрощения работы, и возможности вычисления дискретных преобразований на ней, был осуществлен переход к сетке, состоящей из правильных треугольников. Был реализован алгоритм вычисления ДКП-2 на данной сетке, и в качестве дальнейшей модификации координаты узлов сетки принимались полуцелыми, не совпадая с пикселями изображения. Такой метод дал максимальный выигрыш по выбранным критериям качества.

Активное развитие сетей связи и вещания влечет за собой постоянный рост объемов информации, что требует поиска более эффективных способов хранения и передачи графических данных. Поэтому задача представления изображений в компактной форме является актуальной.

Особый интерес в области сжатия графических данных представляют алгоритмы триангуляции. На основе изображения строится треугольная сетка, и далее операции производятся с простейшими полигональными областями (с каждым из треугольников). Основные плюсы использования треугольной сетки заключаются в том, что любую область можно гарантированно разбить на треугольники, и вычислительная сложность этих алгоритмов меньше, чем при использовании каких-либо сложных полигонов.

Проведено исследование методов линейной аппроксимации информации, попадающей в треугольники на одной сетке, по вершинам треугольника (коэффициенты функции — это цвета вершин) и методом

Литература

1. **Арляпов С. А., Приоров А. Л., Хрящев В. В.** Модифицированный критерий оценки качества восстановленных изображений // ЦОС. 2006. № 2.

*А. А. Уварова, Е. А. Уварова, магистранты;
рук. А. Т. Кобяк, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРОГРАММНЫЙ УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАБОТЫ С ЦИФРОВЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Создание программного учебного комплекса представляет собой одно из важных направлений в компьютеризации обучения. Соединение оптимизированного интерфейса, вычислительных, информационных и других возможностей вычислительной техники несет в себе большой потенциал. Таким примером является разработанный на кафедре Вычислительных машин, систем и сетей (ВМСС) НИУ «МЭИ» программный учебно-лабораторный комплекс.

Замена устаревшего измерительного оборудования в середине 2000 годов на кафедре ВМСС позволила автоматизировать процесс исследования и проводить дальнейшую обработку полученной информации с помощью компьютера. Однако при интенсивной эксплуатации лаборатории осциллографы и генераторы некорректно выполняют некоторые функции при ручном управлении. С применением разработанного программного учебно-лабораторного комплекса могут быть устранены данные неточности срабатывания оборудования, тем самым продлевая срок эксплуатации приборов.

Программный учебно-лабораторный комплекс для работы с цифровым оборудованием состоит из следующих программ:

- 1) Oscilloscope управляет цифровым осциллографом и позволяет получать снимок с экрана, сохранять изображение;
- 2) Generator управляет генератором сигналов специальной формы;
- 3) Voltmetr показывает напряжения, считываемые с осциллографа;
- 4) ACH позволяет устанавливать параметры на генераторе и снимать данные с осциллографа, и визуально отражать амплитудно-частотную характеристику в логарифмическом масштабе;
- 5) Phase позволяет устанавливать частоту на генераторе, измерять фазу с помощью осциллографа и строить фазочастотную характеристику.

Разработанный комплекс направлен на решение актуальной научной проблемы — создание информационно-управляющих систем и комплексов.

А. С. Войцицкая, асп.; рук. М. И. Дли, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ ЖИДКИХ ВЕЩЕСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Применяемые в настоящее время в промышленном производстве способы измерения массы жидких веществ не позволяют в полной мере учесть существующие в данной области ограничения, что существенно затрудняет получение точных замеров. К данным трудностям относят: большие объемы измеряемых жидких веществ, сложная геометрическая форма резервуаров, сложность учета внутренних встроенных элементов, различные углы наклонов резервуаров, влияние внешней среды [2].

Альтернативный способ измерения массы жидких веществ, основывается на использовании искусственных нейронных сетей (ИНС), обучаемых в процессе начальной тарировки измерительного резервуара [1]. Модульная структура информационно-измерительной системы, реализующей предложенный способ представлена на рис. 1.

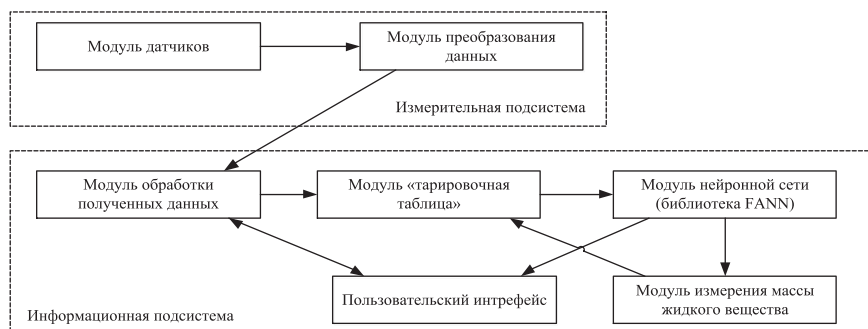


Рис. 1. Модульная структура информационно-измерительной системы

Реализация и тестирование информационно-измерительной системы показали, что разработанный способ, применяющий ИНС, позволяет повысить точность измерения массы жидких веществ по сравнению с известными способами на 5–20% в зависимости от углов наклона резервуаров.

Литература

1. **Войцицкая А. С.** Способ измерения массы жидких веществ на основе искусственных нейронных сетей // *Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности.* — 2017. — Т. 2, № 1 (3). — С. 26–30.
2. **Секацкий, В. С., Мерзликина Н. В.** Методы и средства измерений и контроля: Учебное пособие Красноярск: ИПЦ СФУ, 2007. — 284 с.

Секция 19

ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА

Председатель секции — зав. каф. ПБИ, к.т.н., доцент И.М. Крепков
Секретарь секции — к.э.н., доцент Н.З. Емельянова

И. Б. Архипов, студент;
рук. С. А. Петров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗРАБОТКА ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА ИЗДЕЛИЙ РУЧНОЙ РАБОТЫ

В настоящее время широко используются интернет-магазины. Электронная торговля прочно заняла свое место на рынке, наряду с традиционными формами ведения торговли. Интернет-магазин — высокоэффективный и мало затратный инструмент для успешного ведения бизнеса. Интернет-магазин сочетает невысокую стоимость и высокую эффективность: создание интернет-магазина помогает компании завоевать или укрепить свои позиции на рынке товаров и услуг, увеличить клиентскую базу и повысить популярность бренда.

Для оценки деятельности интернет-магазина был разработан и запущен интернет-магазин. Для выбора категории продаваемых товаров были рассмотрены популярные интернет-магазины и изучены потребности пользователей. Была выбрана категория товаров изделий ручной работы.

Процесс разработки интернет-магазина разделился на несколько этапов:

- разработка внешнего вида страниц интернет-магазина;
- проектирование базы данных;
- запуск интернет-магазина в сети интернет;
- расчет экономической эффективности.

Внешний вид страниц интернет-магазина был разработан в соответствии с основными требованиями usability (удобство использования) сайтов.

По результатам расчета экономической эффективности был сделан вывод о том что интернет-магазин требует на 40% процентов меньше финансовых затрат на создание, открытие и поддержание работы по сравнению с классическим магазином.

В результате работы был разработан полностью работоспособный интернет-магазин изделий ручной работы.

Литература

1. **Люк Веллинг, Лаура Томсон** «Разработка веб-приложений с помощью PHP и MySQL» Вильямс, 2012. — 848 с.
2. **Бен Фрейн** «HTML5 и CSS3. Разработка сайтов для любых браузеров и устройств» — СПб.: Питер, 2014. — 304 с.

В. А. Бакотин, студ.;
рук. О. В. Стоянова, д.т.н., доцент (СПбГУ, Санкт-Петербург)

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ SECURITY GAMES ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В условиях глобальных угроз все более очевидной становится необходимость поиска и последующего применения в высоконагруженных транспортных системах практически значимых «умных» алгоритмов осуществления мер безопасности. Построение интеллектуальных информационных систем, позволивших бы эффективно распределять ограниченные людские и технические ресурсы безопасности во времени и пространстве, требует решения специфических вопросов, состоящих в неоднородности объектов защиты, неоднородности потенциальных угроз и сложности их сравнения (ранжирования), а также многообразия возможных типов преступников (нарушителей).

На сегодняшний день за рубежом постепенно внедряются интеллектуальные ассистенты, составляющие рандомизированное с учетом неоднородности и различной приоритетности объектов защиты расписание контрольных мероприятий. Например, система ARMOR, развернутая в международном аэропорту Лос-Анджелеса (LAX) с целью распределения кинологических патрулей в терминалах воздушной гавани, а также расстановки контрольно-пропускных пунктов на дорогах, ведущих в аэропорт. Используемые на практике программы, в том числе ARMOR, основаны на алгоритмах Security Games, осуществляющих поиск решения (равновесного состояния) в играх Байеса–Штакельберга. Среди них DOBSS, ASPEN, RUGGED, HBGS. В результате исследования были выделены критерии классификации существующих алгоритмов: число чистых стратегий защищающейся и нападающей сторон, способ оценки приоритетности объектов защиты (взвешивания), а также различные внешние ограничения на модель. С помощью данной классификации можно определить алгоритм, наиболее подходящий для решения конкретной задачи. Например, для моделирования процессов обеспечения безопасности на станциях метрополитена в соответствии с классификацией был выбран HBGS, предназначенный для игр с необозримо большим числом чистых стратегий у нападающей стороны и ограниченным их числом у защищающейся.

В докладе рассматриваются следующие ключевые результаты:

- классификация алгоритмов теории игр, позволяющая осуществлять их выбор в соответствие с требованиями решаемых прикладных задач;
- рекомендации по выбору и адаптации алгоритмов оптимизации процессов обеспечения безопасности перевозок.

*Р. С. Чернухин, студент;
рук. Т. К. Филимонова, к.ф.-м.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПАССАЖИРОПОТОКА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПЕРРОНЕ

Моделирование динамики толпы является актуальной задачей в различных областях:

- оценка и оптимизация загруженности и пропускной способности транспортных систем;
- анализ зданий на предмет соответствия нормам безопасности;
- создание поведенчески-реалистичной динамики с использованием компьютерной графики.

Современные подходы моделирования поведения толпы людей, в том числе пассажиропотока, основаны на 2-х подходах: микроскопических и макроскопических моделях [1]. В представлении микроскопической модели можно выделить некоторое количество людей, определить их характеристики, проследить за их движением. Модели, относящиеся ко второй категории, описывают поведение толпы как свойства жидкости.

В представленной работе рассматриваются существующие модели, используемые для моделирования динамики толпы: модель социальных сил [2], модель клеточного автомата [3], а также процесс разработки программного компонента, моделирующего поведение толпы на железнодорожных перронах, для применения в составе программного комплекса симулятора высокоскоростных поездов «Сапсан» и «Ласточка», разрабатываемым компанией ООО «СимРэйл».

К разрабатываемому программному обеспечению предъявлялись следующие требования:

- реалистичность анимации динамики толпы;
- наличие гибкой настройки моделирования.

Данные требования обусловлены необходимостью визуализации динамики пассажиропотока в симуляторе с учетом различных сценариев.

Литература

1. **Antonini M., Bierlaire J.-P., Thiran S., Venegas.** A discrete choice pedestrian behavior model for pedestrian detection in visual tracking systems // *Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems, ACIVS 2004, Brussels, Belgium, August 31 — Sept. 03, 2004.*
2. **Bierlaire M.** A theoretical analysis of the cross-nested logit model // *Annals of Operations Research.* April 2006, Volume 144, Issue 1, pp 287–300.
3. **D. Helbing, P. Molnar.** Social force model for pedestrian dynamics. *Physical review E*, 51(5): 4282–4286, 1995.

В. И. Еремеева, студ.;
рук. О. И. Артюхов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ПРИЛОЖЕНИЙ НА ОС TIZEN

В докладе рассмотрены вопросы разработки методики создания, отладки и внедрения приложений для операционной системы Tizen [1], продвигаемой сегодня в качестве альтернативы фирмами-производителями интеллектуальных гаджетов, таких как мобильные телефоны, часы, ноутбуки, планшеты и т. п.

Сегодня специалистами в области информационных технологий разрабатываются мобильные приложения, которые позволяют быстро решать поставленную задачу, экономить время и достигать максимально комфортного уровня жизни. Разнообразие операционных систем и платформ создает большую конкуренцию и, естественно, что у каждой из них есть свои минусы и плюсы. Основными плюсами Tizen являются:

- над данной системой работает сразу несколько крупных компаний с огромной патентной базой, поэтому в ее развитии заинтересовано сразу несколько крупных игроков рынка;
- Tizen работает на ядре Linux, но при этом не имеет ничего общего с Android: все драйверы для нее были написаны с нуля, поэтому даже первые сборки Tizen работают значительно быстрее и стабильнее, чем Android в последних версиях;
- используется богатый набор функций, предоставляемый в стандартах HTML5, CSS3, JavaScript;
- Web framework обеспечивает большое количество функций (аудио, формы, вибрация и т. д.) и позволяет получить доступ к соответствующим функционалам устройств;
- Tizen поддерживает технологии SQLite [2].

В качестве примера разработки выбрано приложение для учета покупок. Для его клиентской части (веб-приложения) использован HTML5 (для верстки и создания архитектуры сайта) и CSS3 (для оформления). Для программирования серверной части — язык JavaScript. Кроме того была использована современная встраиваемая реляционная база данных SQLite.

В докладе представлены все этапы цикла проектирования веб-приложения на платформе ОС Tizen от постановки задания до сдачи проекта и внедрения.

Литература

1. **Lansdell J., Luo Ch., Somerville M.** Tizen for Dummies. Chichester: «John Wiley & Sons, Ltd» Publishing, 2013. — 214 p.
2. **Sunny Kumar Aditya, Vikash Kumar Karn.** Android SQLite Essentials. Birmingham: «Packt Publishing Ltd.» Publishing, 2014. — 180 p.

*В. В. Гельмут, студ.;
рук. А. А. Емельянов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА ИСПОЛНЕНИЯ РАСПОРЯДИТЕЛЬНЫХ ДОКУМЕНТОВ В НИУ «МЭИ»

Организационно-распорядительные документы (ОРД) являются сигналом для запуска управленческих процессов и (или) причиной запуска специального потока работ. Процессы принятия управленческих решений и контроля их исполнения влияют на эффективность и управляемость всех подразделений предприятия, и организации в целом. Принимаемые в результате данных процессов решения должны основываться на достоверной и релевантной информации, анализе сопутствующих факторов, влияющих на решение, с учетом прогнозирования его вероятных последствий.

Для организаций со сложной иерархической структурой, которую по типу можно отнести к линейно-функциональным, необходимо, чтобы решения, принятые на разных уровнях, были непротиворечивыми. Использование группы связанных изолированных бизнес-процессов в таких условиях негативно влияет на степень полноты предоставляемой информации.

В НИУ «МЭИ» успешно используется СЭД на базе ECM Alfresco — системы управления контентом с открытым исходным кодом. Для решения задачи систематизации принятия и исполнения управленческих решений, основанием которых служит ОРД, было разработано расширение для СЭД НИУ МЭИ, включающее в себя бизнес-процесс для платформы BPM Activiti, поддерживающего исполняемые модели процессов в нотации BPMN 2.0. Разработанный композитный процесс состоит из двух блоков:

- 1) блок управления процессом: содержит пользовательские задачи для владельца процесса и ответственных лиц, предназначенных для управления запуском и остановой выполнения процесса;
- 2) многоэкземплярный блок параллельных вложенных ad-hoc подпроцессов, который содержит задачи, отвечающие за декомпозицию, делегирование, выполнение и проверку задач.

Разработанная схема исполняемого процесса реализовывает гибкий и масштабируемый процесс в рамках СЭД НИУ МЭИ, который позволяет вести скоординированную совместную работу по исполнению документов.

Литература

1. **Елиферов В. Г., Репин В. В.** Бизнес-процессы: Регламентация и управление. Учебник. — М.: ИНФРА-М, 2005.
2. **Кэмерон, Стефан** Управление контентом предприятия. Вопросы бизнеса и ИТ — М.: ООО «Логика бизнеса», 2012.
3. **Activiti User Guide** [Электронный ресурс]. URL: www.activiti.org/userguide.

*К. А. Калганова, студ;
рук. А. А. Емельянов, д.э.н., профессор. (НИУ «МЭИ», Москва)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ДОКУМЕНТАЦИИ

За последнее время происходит рост количества данных, повышаются требования к надежности данных, а также уделяется внимание быстродействию доступа к данным, что дает множество тем для исследования и построение улучшенных систем для документов.

Поэтому предлагается разработать систему хранения, обработки информации в среде Visual Studio 2017. [1] В роли документов была представлена документация проекта строительства теплосети. Так как количество проектов слишком велико, заполнять каждый такой документ данными вручную очень долго и не продуктивно. Под данными, которыми необходимо заполнить таблицы, являются данные по ресурсам: материальным, трудовым и денежным, данной организации, а также другие данные, относящие к документам, различного типа и формата.

Ручные методы ведения учета документов, какими надежными они ни были, не могут справиться с большим потоком входящей и внутренней документации и подвержены негативному влиянию человеческого фактора. В результате этого, возникает риск потери документов на предприятии.

В итоге у нас получилась база данных с исходными данными и пользовательское приложение (рис. 1), с помощью которого можно управлять данными. От пользователя требуется только заполнить таблицы персональными данными. Такую систему хранения можно использовать для документов разной специфики. Для пользователей написана подробная инструкция с иллюстрациями, которая позволит корректно и без затруднений заполнять таблицы и использовать ссылки на документы.

ID	Раздел	Подраздел	Дата	Файл
1	Реконструкция разводящих т...	Сводный сметный расчет стоимости стр...	01.05.2015	file://F:\Смета_p06-07.pdf

Рис. 1. Приложение разработанной системы

Литература

1. **Петров С. А.** Проектирование и разработка информационной системы на платформе Microsoft .NET: Учеб. пособие С. А. Петров, 2016. — 80 с.

М. И. Хабрянкина, студ.; рук. А. А. Еремеев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ НА ОС TIZEN ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ЯЗЫКОВЫХ КУРСОВ «ИВРИТ110»

В жизни современного человека смартфон играет важную роль. В работе рассматриваются вопросы реализации мобильного веб-приложения для операционной системы Tizen. В ходе разработки были проанализированы аналогичные приложения, написанные для разных операционных систем. Для рассмотрения были взяты такие приложения как: «Изучаем иврит офлайн», Memrise, Mondly Hebrew.

Достоинствами проанализированных приложений являются: простота в использовании, оригинальные методики обучения и различные способы стимулирования обучения. Недостатками являются: отсутствие системного подхода к обучению, невозможность полноценного изучения языка в одном приложении.

В разрабатываемом приложении будет устранено большинство недостатков. В новом приложении будут реализованы следующие функции: обучение основам языка в игровой форме, определение уровня знаний языка, электронный учебник.

В качестве программного продукта была выбрана ОС Tizen, которая позволяет: запускать приложения на разных типах устройств, разрабатывать приложения с использованием веб-технологий (HTML5, CSS, JavaScript).

ОС Tizen обладает гибкой и надежной системой безопасности, построенной на основе привилегий. Безопасность обеспечивается архитектурой ОС, способной следить за приложениями и предотвращать попытки навредить пользователю. Для этого в системе есть следующие механизмы: «песочница» для приложений, ограничивающая возможности взаимодействия Tizen и приложения, система шифрования данных, средства анализа процессов в системе, сетевого трафика и файлов.

В данный момент приложение находится на стадии отладки и тестирования.

Литература

1. **A. Abraham.** Hacking Tizen: The OS of Everything, 2017. URL: <https://conference.hitb.org/hitbsecconf2015ams/wp-content/uploads/2015/02/WHITEPAPER-Hacking-Tizen-The-OS-of-Everything.pdf>.
2. **Tizen Developers:** Tizen Web Application Model, 2017. URL: <https://developer.tizen.org/development/training/web-application/tizen-application-mode>.

М. Д. Кочнева, студ.;
рук. В. С. Батасова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

О КАФЕДРАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ТЕСТИРОВАНИЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

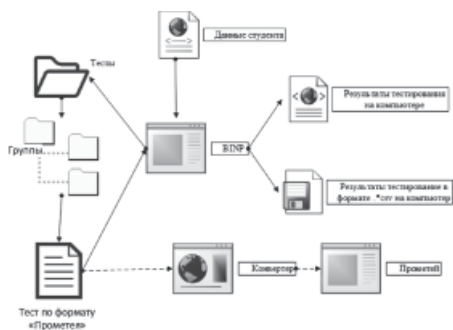


Рис. 1. Функциональная схема

«Прометей» представляет собой функционально-избыточную систему, и ее использование только для тестирования студентов нецелесообразно и требует затрат труда преподавателя [2].

Для решения этих проблем на кафедре ПБИ было разработано web-приложение «BINP», позволяющее провести тестирование по файлам тестов формата «Прометей». Данное приложение имеет преимущества также в виде малых ресурсов, простоты структуры, использования и установки, а также открытого кода системы.

На данном этапе развития системы проводится следующая работа:

- улучшение доступа к тестам;
- контроль времени.

Приложение «BINP» разрабатывалась с помощью следующих технологий: AngularJS, AJAX, и языка программирования JavaScript и PHP. Схема работы приложения приведена на рисунке (рис. 1).

В настоящее время приложение «BINP» выполняет все свои функции, необходимые для тестирования, и все страницы отображаются корректно.

Литература

1. **Общее описание** Системы дистанционного обучения «Прометей». М.: ООО «Виртуальные технологии в образовании», 2012. — 90 с.
2. **Батасова В. С., Назарова М. А.** О простой системе проверки знаний студентов. Труды Международной научно-методической конференции «Информатизация инженерного образования» — ИНФОРИНО-2014 (Москва, 15–16 апреля 2014 г.). М.: Издательский дом МЭИ, 2014. С. 25–26.

Е. И. Лобанева, студ.;
рук. А. А. Емельянов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)

ИМИТАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О НАЗНАЧЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ «МУРАВЬИНЫХ АЛГОРИТМОВ»

Решение задач трассировки и размежевания используются при проектировании систем передачи электроэнергии и транспортировки энергоносителей. В докладе рассматривается гибридная имитационная модель, которая использует в качестве «интеллектуальной» программной функции одну из разновидностей муравьиного алгоритма. Функция *Setanalysis* подключается к системе имитационного моделирования *Actor Pilgrim* и позволяет решать задачу о назначении (трассировки и размежевания) с привязкой к электронным картам. Внутренняя ГИС позволяет моделям работать практически с любым регионом или акваторией России (фрагмент карты показан на рис. 1).

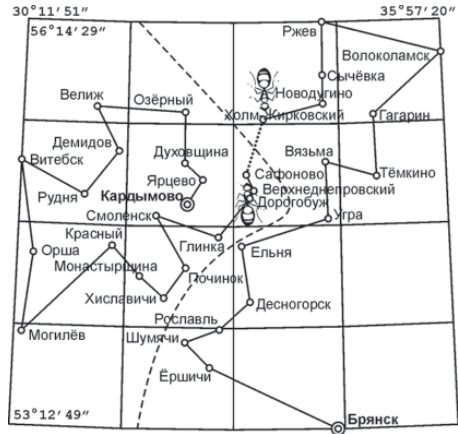


Рис. 1. Решение задачи трассировки и размежевания после третьей итерации

В основе этой функции лежит теория акторных сетей [1], которая реализуется *Actor Pilgrim*, и «зоологические» методы искусственного интеллекта под названием «муравьиные алгоритмы». Акторы являются образами виртуальных муравьев, которые размножаются и гибнут, обладают свойствами наследования, мутации и могут подвергаться селекции [2]. Виртуальные муравьи общаются посредством феромонов, которых более 20. Главными являются феромон пищи (образует положительные обратные связи в «муравейнике», которые оптимизируют трассировку в процессе поиска «пищи») и феромон опасности (образует отрицательные обратные связи, которые оптимизируют размежевание в процессе борьбы с конфликтами). В процессе решения задачи задействованы два модельных «муравейника».

Программная функция реализована в *Visual Studio Community* на C++ и включена в состав библиотеки *Pilgrim.lib*.

Литература

1. **Latour B.** Reassembling the social: an introduction to actor network theory. Oxford: Oxford University Press Inc., 2005. — 302 p.
2. **Skiena St.S.** The algorithm design manual / 2nd edition. London: Springer-Verlag London Limited, 2008. — 740 p.

*Е. И. Лобанева, студ.;
рук. А. А. Емельянов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ERP-СИСТЕМЫ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОЭНЕРGETИКИ

Электроэнергетическая отрасль в России является базовой отраслью, формирующей российскую экономику. Динамизм всех протекающих процессов на электроэнергетических предприятиях, потребность в управлении и обработке постоянно растущих информационных потоков, ставит задачи, решение которых немислимо без применения новых информационных технологий, к примеру, ERP-систем.

ERP-систем являются важной информационной системой управления современным предприятием электроэнергетики, к функциям которой относят как стандартные, так и специфические, учитывающие отраслевые особенности.

Важно отметить, что современная практика внедрения в энергетическое производство информационных технологий, в том числе и ERP-систем, может быть успешна только при полном анализе особенностей методологии использования данных систем, при ясном понимании алгоритмов как проектных работ в организации, так и последующей эксплуатации. Так, для успешной реализации и повышения управляемости данного проекта используются пять логически связанных фаз: подготовка проекта, концептуальное проектирование, реализация, заключительная подготовка и переход к продуктивной эксплуатации и поддержка. Также необходимо непрерывно совершенствовать ERP-системы, учитывая изменения рыночных технологий, новые требования бизнеса, новые функциональные возможности [1].

Данный подход опирается на методологию управления проектом ASAP2. Это дает возможность подробно описать все фазы реализации проекта, раскрывает важнейшие этапы его внедрения, обеспечивает возможность использовать шаблоны работ на всех этапах его жизненного цикла.

Таким образом, разработка и внедрение в практику управления ресурсами на предприятиях электроэнергетики инновационных информационных ERP-систем позволит выйти на новый этап решения технологических, социально-экономических и других задач электроэнергетики.

Литература

1. **Галкина Э.Ю.** Основные направления развития процесса энергосбережения // Эффективная система менеджмента — стратегии успеха: Материалы международного научно-практического форума. Казань: Познание, 2011. С. 48–54.

*Малиновский М. А., студент;
рук. С. А. Петров, к. т. н., доц. (МЭИ, Москва)*

СИСТЕМЫ ТЕСТИРОВАНИЯ

Тестовый метод педагогического контроля знаний студентов неидеален. Одним из его недостатков является большая кропотливая работа над созданием самих тестов и их анализ. Часто встречается субъективизм при формировании содержания и формулировки вопросов, многое зависит от тестовой системы, от времени отведенного на тест. Несмотря на выше сказанные недостатки тестирования, его положительные стороны говорят о целесообразности этой технологии в учебных заведениях. Тест является помощником, дающий студентам возможность проверить уровень их знаний и позволяющий двигаться дальше. Так же тестирование решает такие проблемы, как объективность оценки, оценивание результатов обучения всей группы и сравнение уровня знаний студентов. Тест дисциплинирует процесс обучения, суммирует полученные знания, повышает эффективность обучения у учащихся благодаря применению в процессе анализа и формирование выводов по приобретенным знаниям.

Целью ВКР была разработка системы тестирования по SQL запросам, которая позволит заменить бумажный вариант прохождения тестирования и автоматизирует процесс обучения. Для разработки прототипа системы тестирования были изучены рекомендации при составлении тестов, рассмотрены различные их формы, а также проведен анализ существующих систем. Прототип системы тестирования разрабатывался с помощью паттерна проектирования MVC. Пользовательский интерфейс был создан в среде Microsoft Visual Studio. При входе в систему, пользователь сможет выбрать из нескольких вкладок: пройти тест, домашняя страница и темы тестов. Так же имеются ссылки на теорию о SQL запросах и перехода на скачивания SQL Server, необходимого для составления непосредственно самих запросов.

Был разработан прототип системы тестирования по SQL запросам. Эффективность данной системы заключается в экономии времени преподавателей при составлении тестов и проверке результатов студентов.

Литература

1. Классификация компьютерных систем тестирования знаний учащихся. [Электронный ресурс]: сайт Международный журнал экспериментального образования. — Электронные данные. — 2005–2017. Российская академия естествознания. — Режим доступа: <http://www.Expeducation.ru/ru/article/view?id=9769>
2. **Адам Фримен.** ASP.NET MVC 5 с примерами на C# 5.0 для профессионалов, 5-е издание.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Диалект-Вильямс», 2016. — 736 с.

А. С. Миротворская, студ.;
рук. Н. З. Емельянова к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Автотест — это скрипт, имитирующий работу пользователя с приложением. Его назначение — это обнаружение ошибок в работе ПО. Каждый скрипт из набора проверяет корректность работы какой-либо части приложения и выдает отчет об ошибке, если сценарий не пройден. Достоинства автотестов состоят в том, что они выполняются с высокой точностью, работают быстрее и не зависят от человеческого фактора. Автоматизация тестирования является полезным инструментом, прибегать к которому бывает достаточно выгодно, но у него есть свои проблемы:

1. **Отбор тестов.** С первой проблемой приходится столкнуться уже на этапе выбора тестовых кейсов для автоматизации. Не все кейсы поддаются автоматизации и приходится оставлять их для ручного тестирования.
2. **Стоимость.** Вторая проблема возникает каждый раз, когда заходит речь об автоматизации, т.к. внедрение автотестов и их использование не всегда будет обходиться дешевле, чем ручное тестирование. В каждом конкретном проекте необходимо просчитывать рациональность внедрения автоматизации.
3. **Актуализация.** Поскольку написание автотестов является, по сути, программированием, для поддержания их в актуальном состоянии нужно править непосредственно сам скрипт автотеста. Код меняется в двух случаях: когда меняются входные параметры теста и когда меняется сам функционал. В идеале, при каждом обновлении проекта, нужно актуализировать и скрипты тестирования.

Все описанные проблемы нельзя полностью решить, но можно попытаться уменьшить их влияние на возможность автоматизации. Стоимость, можно снизить, используя свободное ПО (например, NUnit подходящее для юнит-тестирования). Проблему актуализации можно уменьшить, осуществляя автоматизацию на таком этапе, когда больших доработок в ПО не ведется, т.е. на стадии, когда требования уже не меняются и не уточняются, и, следовательно, актуализировать тесты можно реже. Такой подход использовался при автоматизации тестирования в проекте «Паспорт».

Литература

1. **Дастин Э., Рэшка Д., Пол Дж.** Автоматизированное тестирование программного обеспечения. Пер. с англ.: — М.: Лори, 2016. — 592 с.
2. **Винниченко И. В.** Автоматизация процессов тестирования. — СПб.: Питер, 2015. — 203 с.

С. А. Ночвай, студ.; рук. С. А. Петров, к.т.н. (НИУ «МЭИ», Москва)

МЕТОДОЛОГИЯ DEVOPS НА ПРИМЕРЕ АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРКИ ДИСТРИБУТИВА

XXI век — это век автоматизации и прогресса, в котором активно ведется сокращение расходов на рутинные действия, путем автоматизации, либо создания абсолютно автоматических процессов.

В современных практиках разработки активно применяются методики DevOps (Development and Operations, 2009), которые должны уменьшить один из важных требований для бизнеса — срок вывода продукта на рынок, сократить расходы производства, а также увеличить качество выпускаемых решений [1].

Основные области представлены на рис. 1 — разработка, тестирование и операции, которые включают в себя методики непрерывной интеграции, непрерывной поставки для удовлетворения потребностей бизнеса.

В работе представлен опыт внедрения данных практик в отделе разработки шлюзов безопасности, приведены данные по сокращению издержек на автоматизации ручных операций, а также приведены прогнозы по затратам при дальнейшем использовании ручных операций, представлены инструменты для реализации данных методик на практике.

Для построения процесса непрерывной интеграции (CI, Continuous Integration) были использованы современные программные технологии: Jenkins (оркестровка процесса), Gitlab (хранение исходного кода), Citrus Frame work (автоматизированные тесты), Nexus (хранение артефактов разработки).

Процесс непрерывной установки (CD, Continuous Deployment) базируется на инструментах: Jenkins (оркестровка процесса), Ansible (автоматизированная установка дистрибутивов), Gitlab (хранение конфигурационных элементов).

Внедрение процессов непрерывной интеграции и непрерывной установки позволило существенно снизить расходы на выполнение повторяемых однотипных операций.



Рис. 1. Метод DevOps

Литература

1. DevOps [электронных ресурсы]. — <https://ru.wikipedia.org>.

С. А. Ночвай, студ.; рук. С. А. Петров, к.т.н. (НИУ «МЭИ», Москва)

ПОСТРОЕНИЕ ШЛЮЗА БЕЗОПАСНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕТЕВОГО УСТРОЙСТВА «IBM DATAPOWER»

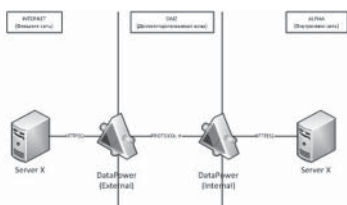


Рис. 1. Пример шлюза

Современный мир состоит из огромного объема данных, узлов хранения, обработки и передачи этих данных, которые могут стать целью злоумышленников. Перед бизнесом встает необходимость защитить свои данные, данные своих клиентов и данные контрагентов, с которыми взаимодействуют, а также свои цифровые сервисы и приложения.

Одним из способов противодействию злоумышленникам является разработка шлюза безопасности и интеграция его во все сервисы компании.

При демонстрации шлюза безопасности использовано устройство сетевого уровня IBM DataPower, виртуальный образ которого свободно распространяется на официальном сайте IBM для ознакомления и обучения [1].

Для IBM DataPower разработан собственный протокол для интеграции сетевых устройств с целью создания демилитаризованной зоны и приведены основные рекомендации для создания шлюза безопасности, а также рекомендации по интеграции с ним других серверов приложений.

Между двумя сетевыми устройствами создается демилитаризованная зона, доступ в которую возможен только из внутренней сети по менеджмент интерфейсам. Данная зона закрыта для управления из внешней сети. Для внешних сервисов открываются только определенные порты. Протоколы передачи данных в демилитаризованной зоне могут использоваться абсолютно любые, начиная от http, https, mq, iosockets и заканчивая полностью собственной разработкой, а элементы данных, такие как заголовки сообщения, тело сообщения могут модифицироваться во время передачи. Пример структуры шлюза безопасности представлен на рис. 1.

Применение шлюза безопасности IBM DataPower объективно снижает риски информационной безопасности.

Литература

1. IBM Software, IBM WebSphere DataPower Integration Appliance XI52, U.S.A., 2012.

*Л. И. Пасечник, студ.;
рук. О. В. Стоянова, д.т.н., доцент (СПбГУ, Санкт-Петербург)*

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ КАК ИНСТРУМЕНТ АДАПТАЦИИ И РАЗВИТИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ СОТРУДНИКОВ

Многие компании понимают важность мотивации и развития персонала, активно занимаются подбором и обучением своих сотрудников. В каждой крупной компании имеются информационные системы управления персоналом. Однако существует проблема — неэффективность процессов формирования кадрового резерва и управления развитием сотрудников. Для более эффективного решения данной проблемы требуется оптимизация системы адаптации и развития потенциала сотрудников, поиск возможностей по улучшению работы со стажерами.

Целью данного исследования являлся анализ возможностей использования таких систем для решения задач адаптации и развития компетенций сотрудников.

В ходе исследования был проведен сравнительный анализ технической документации, демо-версий следующих систем: MAS-Project, M-Files HRM, Лидер Таск, SAP Success Factors и др. Системы проанализированы по наличию функционала, отвечающего задачам развития, обучения и адаптации персонала.

Проведение опросов студентов, собеседования работодателей, обратная связь от сотрудников позволили выявить задачи, возникающие в процессе адаптации новых сотрудников и стажеров: планирование кадрового состава, разработка методов быстрой адаптации сотрудника в компании, создание системы критериев соответствия компетенций сотрудника занимаемой им должности. К задачам развития персонала относят обучение сотрудников, проведение контроля знаний, управление мотивацией персонала, систему профессиональной переподготовки или проведения дополнительного корпоративного обучения. В большинстве систем реализованы: учет кадров, содействие адаптации персонала, прогнозирование кадровых изменений, оценка и обучение сотрудников. Лишь в половине подобных систем можно выделить поддержку: программы соответствия компетенций и мотивации персонала, системы менторства. К наиболее редкому функционалу относятся: карьерный атлас, создание системы стажировок и сотрудничества с университетами.

Использование результатов проведенного анализа при разработке информационных систем управления персоналом будет способствовать совершенствованию процессов адаптации и управления карьерным ростом сотрудников.

*К. В. Кузнецов, Г. С. Шавгулидзе, студ;
рук. А. А. Емельянов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РЕЙТИНГОВ АБИТУРИЕНТОВ НА ОСНОВЕ АППАРАТА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В последние годы рейтинговые системы находят широкие применения для оценки деятельности людей в различных средах их жизни. В настоящее время разработаны бальные, весовые и бально-весовые рейтинговые системы.

Предлагается разработка рейтинговых систем по определению рейтингов абитуриентов на основе аппарата нечеткой логики, который позволяет повысить качество принимаемых решений и эффективность приемной комиссии по определению рейтингов абитуриентов на основе формализации качественной и приближенной информации.

Для разработки нечеткой модели поддержки принятия решений по определению рейтингов абитуриентов были выделены критерии поступающего на основе правил приема в НИУ «МЭИ» и использована компонента «Fuzzy ToolBox 2.12», входящая в состав среды имитационного моделирования «MatLab», для разработки нечетких продукционных правил.

Для разработки пользовательского интерфейса использовалась программа «Borland Builder C++ 6.0.»

При запуске программы будет показано окно со шкалами, затем при нажатии на кнопку «Определить рейтинг» в окне будет выведен результат в соответствии с тем, какие начальные условия были заданы на шкалах. При нажатии на кнопку «Сохранить результат в файл» в папке программы будет создан файл, в котором будет сохранен результат абитуриентов.

При внедрении предполагаемой системы в работу приемной комиссии ожидается экономия времени работы и заработной платы ее членов, которая будет возможной после окупаемости разработанной и внедренной интеллектуальной системе поддержки принятия решений по определению рейтингов абитуриентов.

Литература

1. **Головина Е. Ю.** Интеллектуальные методы для создания систем поддержки принятия решений: учебное пособие / Е. Ю. Головина. М.: Издательский дом МЭИ, 2011. — 104 с.
2. **Вагин В. Н., Головина Е. Ю., Загорянская А. А., Фомина М. В.** Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / Под ред. В. Н. Вагина, Д. А. Поспелова. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. — 704 с. — ISBN 5-9221-0474-8

*А. Д. Стоянова, студ.; рук. О. В. Стоянова, д.т.н., доцент
(СПГУ, СПбГУ, Санкт-Петербург)*

МОДИФИКАЦИЯ ФРЕЙМВОРКА ЗАХМАНА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРОЙ ПРЕДПРИЯТИЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В условиях цифровой трансформации бизнеса важнейшую роль играют инструменты управления информационной инфраструктурой (ИТ-инфраструктурой) предприятий, позволяющие осуществлять планирование, внедрение, мониторинг и контроль изменений элементов ИТ-инфраструктуры синхронизировано с изменениями бизнес-процессов. На предприятиях топливно-энергетического комплекса используются информационные системы различных классов, от систем диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) до инструментов бизнес-аналитики (BI) и интеллектуального анализа данных (Data Mining). Это усложняет управление ИТ-инфраструктурой и требует применения архитектурных описаний предприятия в качестве базовых моделей системы управления.

Получение архитектурных описаний возможно с использованием фреймворка Захмана, методик TOGAF, FEA, GERAM, ARCHIMATE и других. Опыт практического использования фреймворка Захмана для разработки элементов архитектурного описания предприятий топливно-энергетического комплекса, позволил выделить следующие особенности, на которые необходимо учитывать в процессе создания такого описания: территориальная распределенность источников информации, неоднородность информации по составу, свойствам и технологиям хранения. В ходе исследования показано, что эти особенности можно учесть в рамках классической структуры фреймворка, включающей два измерения: пользователь архитектурного описания (владелец бизнеса, управляющий, проектировщик ИТ и др.) и описываемый аспект (объект, процесс, время, место, исполнитель и цель).

Главной особенностью предприятий топливно-энергетического комплекса с точки зрения получения архитектурного описания является значительная доля внешних бизнес-сервисов (в том числе геология, геодезия, геофизика), данных (прогнозы топливно-энергетических балансов, описания наилучших доступных технологий и др.) и программных сервисов (например, сервис оценки объемов месторождений). Для отражения этого аспекта в архитектурном описании предложено ввести в фреймворк Захмана третье измерение — локация (размещение) элемента ИТ-инфраструктуры. Данная модификация позволит представить все внешние элементы в рамках единого архитектурного описания и оценить устойчивость ИТ-инфраструктуры предприятия к внешним изменениям.

В. И. Ведейкис, студ.;
рук. Н. З. Емельянова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ТРЕБОВАНИЙ СТАНДАРТА ISO/IEC-27001



Рис. 1. Пример процессного подхода стандарта ISO/IEC-27001

минимизация ущерба (прямого или косвенного, материального, морального или иного), наносимого субъектам посредством нежелательного воздействия на информацию.

Стандарт ISO/IEC-27001 предполагает использовать процессный подход для разработки, внедрения, обеспечения функционирования, мониторинга, анализа, поддержки и улучшения СУИБ организации [2].

Пример процессного подхода представлен на рис. 1.

Другие стандарты семейства ISMS предоставляют руководство по различным аспектам реализации системы управления информационной безопасностью (СУИБ), описывают этот процесс в целом, содержат руководящие указания по системам управления и по специфическим функциям различных подразделений [1].

Семейство стандартов ISMS предназначено для оказания помощи организациям любых типов и масштабов в эффективной эксплуатации СУИБ [1].

При разработке системы в качестве клиентской части веб-приложения использовался язык программирования JavaScript, для серверной части язык программирования PHP.

Для генерации отчетов используются PHP библиотека TCPDF

Литература

1. **Международный стандарт** ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006.
2. **Международный стандарт** ISO/IEC 27000 2014 г.

Секция 20 НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА

Председатель секции — д.т.н., профессор В.П. Лунин
Секретарь секции — к.т.н., доцент В.А. Барат

В. К. Авагян, студент (МЭИ, Москва);
рук. Е. Г. Базулин, д.т.н., проф. (НПЦ «ЭХО+», Москва)

УМЕНЬШЕНИЯ УРОВНЯ МЕЖКАНАЛЬНЫХ ПОМЕХ ЗА СЧЕТ РАЗБИЕНИЯ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ НА ПОДРЕШЕТКИ ПРИ ИСПЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ CDMA ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СКОРОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ЭХОСИГНАЛОВ

Наиболее перспективной технологией визуализации внутреннего объема объекта контроля при использовании антенных решеток (АР) [1] является технология цифровой фокусировки антенной (ЦФА) [2]. Регистрация эхосигналов в режиме двойного сканирования требует число тактов излучения равное числу элементов АР. Для повышения скорости регистрации эхосигналов можно воспользоваться технологией CDMA [3] с применением псевдоортогональных последовательностей — Касами, Велти, Задова-Чу и последовательности со случайно фазой (ПСФ). После анализа свойств псевдоортогональных последовательностей, было принято решение использовать ПСФ. Предложенный способ позволяет регистрировать эхосигналы за один такт со значительным уменьшением объема эхосигналов. Однако с увеличением числа элементов антенной решетки растет уровень межканальных

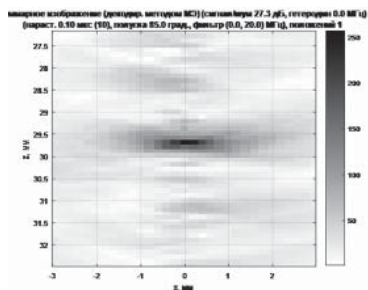


Рис. 1. Изображение точечного отражателя

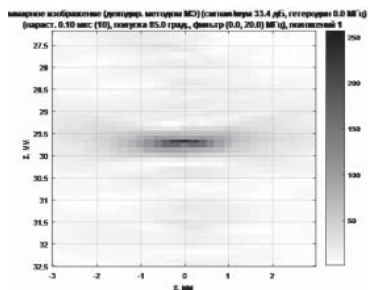


Рис. 1. Изображение точечного отражателя с разбиением АР на две

помех при декодировании. Для уменьшения уровня межканальных помех можно проводить измерения с разбиением антенной решетки на подрешетки. Декодирование суммарных эхосигналов проводилось методом максимальной энтропии. На рис. 1 показан результат восстановления точечного отражателя с использованием 32-элементной АР излучающей ПСФ длины 15 бит, на рис. 2 — при разбиении АР на две. В результате отношение сигнал/шум увеличилось на 12 дБ, скорость регистрации — в 8 раз относительно метода двойного сканирования.

Литература

1. *Advances in Phased Array Ultrasonic Technology Applications*. Publisher: Waltham, MA: Olympus NDT, 2007
2. **Ковалев А. В., Козлов В. Н., Самокрутов А. А., Шевалдыкин В. Г., Яковлев Н. Н.** Импульсный эхо-метод при контроле бетона. Помехи и пространственная селекция // *Дефектоскопия*. 1990. № 2. С. 29–41.
3. **Hsiao-Hwa Chen**. The next generation CDMA technologies

*Бардаков В. В., аспирант;
рук. Барат В. А., к. т. н., доц. (НИУ МЭИ, Москва)*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АЭ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Железобетонные балочные элементы используются повсеместно в современном строительстве и являются важной частью большого числа инфраструктурных объектов (мосты, жилые здания и т. д.) [1]. В настоящее время предъявляются повышенные требования к безопасности подобного рода объектов и, как следствие, к отдельным конструктивным элементам. Наиболее распространенной процедурой по оценке структурного состояния железобетонных конструкций, на сегодняшний день, является проведение периодического контроля. Однако периодический контроль, проводимый в основном визуально, имеет малую достоверность и не позволяет фиксировать изменения в состоянии конструкции между осмотрами. В связи с этим актуальной задачей является проведение мониторинга подобного рода объектов. Перспективным методом, который может справиться с данной задачей является метод акустической эмиссии (АЭ).

В ходе выполнения данной работы были проведены экспериментальные исследования по испытанию железобетонных балок на трехточечный изгиб с увеличивающейся циклической нагрузкой вплоть до разрушения, с сопровождением методом АЭ. Всего было исследовано 6 железобетонных балок отличающихся друг от друга составом, прочностью, а также типом армирования. Помимо этого были исследованы составы с использованием фибробетона, что является новым применением метода АЭ в строительстве.

В ходе анализа полученных АЭ данных была проведена оценка существующих подходов и методик, используемых для оценки целостности и структурного состояния железобетонных конструкций. При этом были выявлены их достоинства, недостатки, а также ограничения применимости.

Помимо этого, также были разработаны собственные оригинальные подходы к анализу данных и оценке целостности и структурного состояния железобетонных конструкций при помощи метода АЭ и составлены рекомендации по проведению периодического АЭ контроля и мониторинга подобного рода конструкций.

Литература

1. **Michael C Forde, Sabrina Colombo et al.** Predicting the Ultimate Load Capacity of Concrete Bridge Beams from the «Relaxation Ration» Analysis of AE Signals. Progress in Acoustic Emission XVIII. Japan. 2016. Pp. 359–364.

Л. В. Булгаков, студ.; рук М. А. Кошелев, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА РАЗРЯДНЫХ ПРОЦЕССОВ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ В СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

Разрядные процессы в изоляции силовых трансформаторов могут оказывать существенное влияние на их срок службы. Поэтому возникает необходимость контроля разрядных процессов. Наибольшую информацию удается получить при непрерывном контроле — мониторинге. Для контроля разрядных процессов в изоляции наибольшее распространение получил электрический метод. Однако в условиях эксплуатации применение этого метода весьма затруднительно из-за наличия электромагнитных помех. Акустический метод контроля разрядных процессов практически не чувствителен к помехам. Однако системы мониторинга разрядных процессов в изоляции акустическим методом до сих пор не разработаны в нашей стране.

На основании исследований [1] были сформулированы требования к указанной выше системе мониторинга разрядных процессов:

1. Нечувствительность к механическим вибрациям в силовых трансформаторах и сигналам помех.
2. Регистрация акустических сигналов в диапазоне частот от 60 до 130 кГц.
3. Формирование и обеспечение индикаторного отражения заключения о техническом состоянии изоляции силовых трансформаторов по трехурневой шкале.

Исходя из сформулированных требований, была разработана и изготовлена система мониторинга разрядных процессов в силовых трансформаторах акустическим методом, блок-схема которой приведена на рис. 1.

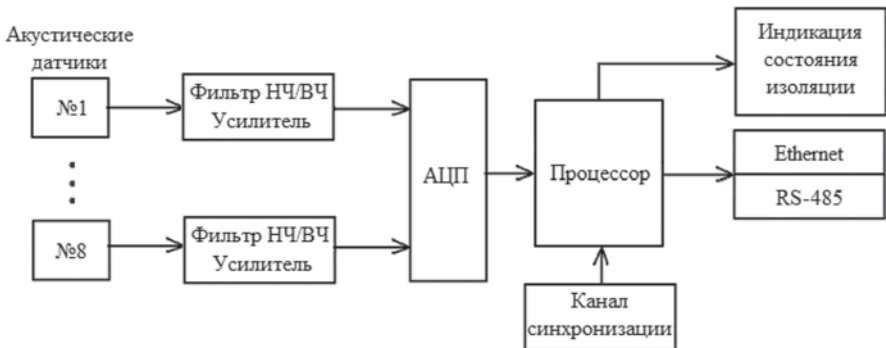


Рис. 1. Блок-схема системы мониторинга

Литература

1. Цветаев С. К. Акустические сигналы и аварийность высоковольтного оборудования // НРЭ. 2011. № 4.
2. Вдовико В. П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования. Новосибирск: Наука, 2007.

А. А. Быков, студ.; рук. А. Ю. Марченков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСА ШАРОВОГО КРАНА DN50 ИЗ СТАЛИ 09Г2С

Шаровой кран — разновидность трубопроводного крана, запирающий или регулирующий элемент которого имеет сферическую форму. Это один из типов запорно-регулирующей арматуры, находящий широкое применение в трубопроводах, транспортирующих природный газ и нефть, системах городского газоснабжения, водоснабжения, отопления. Современные шаровые краны являются достаточно надежными элементами арматуры, однако, для некоторых серий шаровых кранов характерно появление дефектов в процессе эксплуатации — как правило, в виде трещин и течей. Это происходит чаще всего вследствие выбора нерациональных технологических операций изготовления отдельных элементов крана, отклонений от технологии изготовления и низкого качества материалов, применяемых для изготовления крана.

Работа посвящена оптимизации технологии изготовления шарового крана с номинальным диаметром прохода DN50 для газопровода. Известны случаи, когда на кранах исследуемой серии в процессе эксплуатации на газопроводах в местах сварного соединения патрубка штревельного механизма с корпусом крана появлялись дефекты типа трещин, а в редких случаях появлялись течи. По результатам исследований механических свойств металла корпуса и анализа его микроструктуры было установлено, что операция прошивки отверстия в корпусе шарового крана приводила к образованию интенсивного наклепа вблизи отверстия, который, в свою очередь, становился очагом для образования расслоений и микротрещин в структуре стали. Для снижения риска возникновения подобных дефектов предложено внести соответствующие изменения в технологию изготовления корпуса шарового крана, а именно изменения в операцию получения отверстия и контроля механических свойств металла корпуса.

Личный вклад автора заключается в выполнении металлографических исследований и определении механических свойств металла, разработке оптимизированной общей технологической схемы изготовления шарового крана, выборе оборудования для реализации операции контроля механических свойств методом индентирования [1]. Предложенная технология позволит повысить надежность эксплуатации исследуемого шарового крана.

Литература

1. **Матюнин В. М.** Индентирование в диагностике механических свойств материалов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 288 с.

Д. В. Чернов асп.; рук. В. А. Барат, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО МОНИТОРИНГА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Опасные промышленные объекты подвержены широкому спектру нагрузок, приводящих к возникновению коррозионных, механических и других видов повреждений. Процесс их накопления служит причиной снижения прочностных характеристик материала. При достижении критического уровня накопленных повреждений возрастает риск возникновения аварийных ситуаций. Для их предотвращения и проведения своевременной оценки состояния промышленных объектов применяются системы мониторинга, в которых используются методы неразрушающего контроля (НК). Одним из таких методов НК является метод акустической эмиссии (АЭ). Он основан на генерации упругих волн при структурных изменениях материала [1]. Метод АЭ обладает высокой чувствительностью и не требует полного доступа к поверхности объекта контроля. Необходимо отметить, что в рамках технологического процесса могут возникать не только полезные, но и шумовые источники акустических сигналов, снижающие достоверность результатов диагностики.

При АЭ мониторинге промышленных объектов необходимо учитывать множество факторов, связанных с активностью и характеристиками шума, а также выбором оптимальных методик фильтрации. При решении поставленной задачи предлагается использовать метод выявления разладки параметров потока акустических сигналов, связанных с образованием и развитием усталостных дефектов [2]. Применение такого подхода позволяет проводить фильтрацию периодического и импульсного шумового процесса. Также в рамках исследования проводится разработка достоверного критерия оценки состояния промышленных объектов, основанного на закономерностях кумулятивных АЭ параметров.

Литература

1. **Иванов В. И., Власов И. Э.** Метод акустической эмиссии. Неразрушающий контроль: Справочник; В 7 т. Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 7. Кн. 1. М.: Машиностроение. 2005. — 340 с.
2. **Барат В. А., Чернов Д. В., Елизаров С. В.** Применение методов обнаружения разладки потока данных для повышения помехоустойчивости метода акустической эмиссии. — Дефектоскопия, 2016, № 6, с. 61–70.

Я. К. Ерошников, студ.; рук. В. П. Лунин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В ВИХРЕТОКОВОМ МЕТОДЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Моделирование — хороший инструмент для понимания и анализа зависимости сигналов от различных дефектов, таких как трещины и прилегающие к поверхности пустоты или включения. Малое изменение сигнала от дефектов и процесс проверки должны быть учтены в модели. Поэтому важно использовать точные численные методы.

Для использования методов, соответствующих этим условиям, модель с осевой симметрией настраивается и анализируется в квазистационарном электромагнитном режиме с гармоническими полями.

Дифференциальный поток определяется соотношением:

$$\Delta\Phi = (\Phi_{(b)}^{(2)} - \Phi_{(b)}^{(1)}) - (\Phi_{(a)}^{(2)} - \Phi_{(a)}^{(1)}), \quad (1)$$

где $\Phi_{(b)}$ — поток через сечение катушки от изделия с дефектом, $\Phi_{(a)}$ — без дефекта, индексы (1) и (2) определяют номера приемных катушек [1].

Исследование заключается в моделировании полей вихревых токов диска с трещинами в критической зоне (в отверстиях диска двигателя). В результате формируется сигнал вихретокового преобразователя (ВТП) в виде годографа, пример которого представлен на рис. 1 [2].

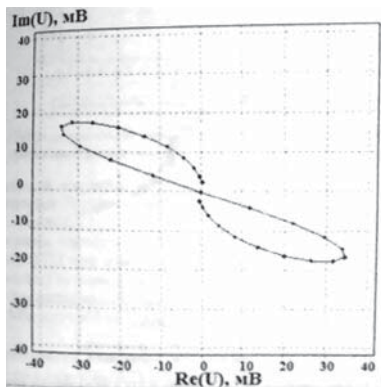


Рис. 1. Пример сигнала ВТП при сканировании в области дефекта

Литература

1. **Anders Rosell & Gert Persson** COMSOL CONFERENCE 2011 — Stuttgart.
2. **Лунин В. П.** Проектирование программно-алгоритмических средств для систем электромагнитного контроля энергетического оборудования. Издательство МЭИ 2016.

*С. А. Федоренко, аспирант; Г. М. Деликов, студент;
рук. В. К. Качанов, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ТОЛЩИНОМЕТРИЯ КОМПАКТНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ БЕТОНА С ПОМОЩЬЮ ИМПАКТ-ЭХО МЕТОДА

Широко используемый в толщинометрии строительных конструкций (СК) из бетона ультразвуковой эхо-импульсный метод позволяет контролировать изделия, чья толщина не превышает одного метра. В том случае, когда толщина СК больше этой величины, для ее измерения используют импакт-эхо метод [1]. Импакт-эхо метод — акустический метод неразрушающего контроля, основанный на анализе собственных частот изделия. Он получил широкое распространение в развитых странах (США, Германия, Япония и др.) благодаря простоте использования и возможности измерения больших толщин СК. Ограничением данного метода является конфигурация СК. Так, с помощью импакт-эхо метода производится контроль изделий двух типов: свая и плита. Такие изделия являются протяженными, то есть у них контролируемый габарит либо много больше других габаритов (свая), либо много меньше (плита). СК, у которых измеряемый габарит примерно сопоставим с другими размерами, являются компактными. Компактные объекты характеризуются ярко выраженной геометрической дисперсией скорости звука [2], которая вносит значительную погрешность в измерения импакт-эхо метода. Таким образом, для оценки толщины компактных СК импакт-эхо методом нужно компенсировать влияние геометрической дисперсии.

В настоящей работе исследуется влияние геометрической дисперсии звука на компактные объекты с квадратным поперечным сечением. Показывается важность понимания резонансных процессов компактных СК для правильного анализа их амплитудно-частотных характеристик. Также предлагаются корректирующие коэффициенты, устраняющие влияние геометрической дисперсии на компактные изделия квадратного поперечного сечения.

Литература

1. **Sansalone M., Streett W.B.** Impact-Echo: Nondestructive Testing of Concrete and Masonry, Bullbrier Press, Jersey Shore, PA., 1997.
2. **Шутилов В. А.** Основы физики ультразвука: Учеб. пособие. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980.

A. Fomin, stud. (MPEI); Dr.-Ing. S. Braeunig, Prof. Dr.-Ing. habil H. Toepfer (Technische Universität Ilmenau, Ilmenau, Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme IMMS GmbH, Germany), Prof. V. P. Lunin (MPEI)

MACHINE LEARNING FOR VEHICLE DETECTION AND CLASSIFICATION USING WIRELESS SENSOR NETWORK

There is growing need to enhance the performance of contemporary vehicle surveillance technologies using the advances in Wireless Sensor Networks (WSN) technology. It is widely proposed to use recent advances in WSN technologies for vehicle detection and classification. Traffic surveillance systems provide data for building an efficient Intelligent Transportation System (ITS). Flexibility, ease in installation and maintenance, low cost and high accuracy of WSN gives more accurate vehicle detection and classification.

Basis of the described system is a magneto-resistive sensor which measures changes of a magnetic field in case of car movement independent of weather conditions and time of day. Data from the sensor are transferred by means of the controller with a built-in Wi-Fi module to the Raspberry Pi mini-computer on which the analysis of the received signals is made. A number of experiments were carried out, as a result of which we received signals from three different types of vehicles: Passenger Cars, Vans and Trucks.

As result of the work we have a simple, yet, powerful system for real time vehicle classification. The approach is an improvisation and advancement of already developed algorithms. Presented algorithm is used for extraction of feature vectors. The experiment detects vehicles using detection state machine (DSM) and classifies them through K-Nearest Neighbor algorithm. This method classifies the vehicles, into their stipulated classes, using its magnetic signature's shape with nearly 100% accuracy. It has been verified that the algorithm enhances the performance of vehicle surveillance with high precision and robustness.

Keywords — wireless sensor network (WSN); intelligent transportation system (ITS); data processing; machine learning; vehicle classification; traffic monitoring; event detection.

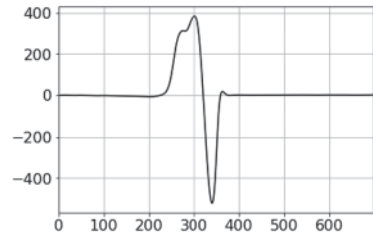


Fig. 1. Example of Passenger Car signal

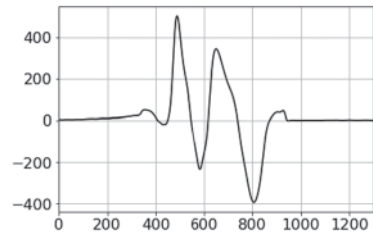


Fig. 2. Example of VAN signal

T. Iskhakov, stud. (MPEI); Dr.-Ing. S. Braeunig, Prof. Dr.-Ing. habil H. Toepfer (Technische Universität Ilmenau, Ilmenau, Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme IMMS GmbH, Germany), Prof. V. P. Lunin (MPEI)

ALGORITHM SIGNAL PROCESSING DEVELOPMENT IN EMBEDDED SYSTEMS

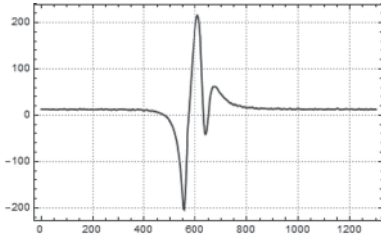


Fig. 1. Example of Passenger Car signal

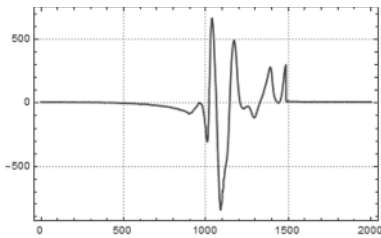


Fig. 2. Example of VAN signal

The importance of using embedded systems to solve mathematical problems has increased dramatically over the last year. Great benefits for this is the use of the Raspberry Pi platform with built-in free mathematical package Mathematica.

With the new Wolfram language available on the Raspberry Pi it is possible to achieve accurate results in the processing and classification of signals using machine learning, and low cost and multi-tasking allow you to create a portable wireless data processing system.

As the data for the developed algorithm in the language of Wolfram I took the signals from magneto-resistive sensor that measures changes in the magnetic field. It is used to detect vehicles. Data from the sensor are transmitted through the controller via Wi-Fi directly to Raspberry Pi. Received signals from various types of vehicles (cars, vans, trucks).

As a result of the algorithm first separates out the signals of cars from the General flow of data through a floating window with the specified coefficient SD (standard deviation). The next step is to extract feature vectors for further classification of signals. The above method gives us the output of the classification of vehicles that passed over the sensor with almost 100% accuracy.

Literature

1. **Stephen Wolfram** An elementary introduction to the Wolfram language. 2017.
2. **Myuller A., Gvido S.** Introduction to Machine learning with Python. 2016–2017.

*М. А. Караваев, инженер.; А. А. Синицын, с.н.с.;
рук. И. В. Соколов, д.т.н., гл.н.с. (НИУ «МЭИ»)*

БЕСКОНТАКТНЫЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЗЕРКАЛЬНО-ТЕНЕВОЙ КОНТРОЛЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время активно развиваются бесконтактные способы ультразвукового (УЗ) контроля полимерных композиционных материалов, применяемых в аэрокосмической промышленности. При реализации этих способов не требуется применение контактных веществ и какой-либо подготовки поверхности объекта контроля, что упрощает создание автоматических сканирующих систем.

В процессе эксплуатации к объектам может быть только односторонний доступ, что подразумевает применение односторонних методов контроля. Для контроля объектов толщиной, в несколько раз превышающей длину волны, на частотах в районе 100 кГц односторонний бесконтактный контроль может быть реализован с помощью зеркально-теневого метода [1, 2]. При бесконтактном УЗ одностороннем способе контроля наблюдение полезного донного сигнала значительно осложняется из-за воздействия на приемный преобразователь наводки по воздуху, идущей от излучающего к приемному преобразователю. Для разрешения во времени донного сигнала и наводки по воздуху применяют или акустические экраны на корпусах преобразователей [1], усложняющие конструкцию преобразователей, или акустический экран между излучающим и приемным преобразователями, плотно прислоняемый к поверхности ОК [2], что затрудняет создание сканирующих систем.

В докладе показано, что применение широкополосных преобразователей, обеспечивающих короткий сигнал, позволяет без использования акустических экранов разрешить во времени донный сигнал и наводку по воздуху. Приводятся описания конструкций бесконтактных широкополосных преобразователей с несколькими согласующими слоями, имеющими разные резонансные частоты.

Сообщается о выборе угла ввода ультразвукового луча в объект контроля, расстояния между излучающим и приемным преобразователями и расстояния между преобразователями и ОК.

Приводятся результаты бесконтактного сканирования зеркально-теневым методом полимерных материалов.

Литература

1. **Волосский В. П.** Разработка бесконтактной ультразвуковой эхолокации пластмассовых сред. Автореферат дисс. на соискание уч. степени к.т.н. М., МЭИ, 1985.
2. **Fabian Schempp, Jin-Yeon Kim, and Laurence J. Jacobs,** Air-Coupled Generation and Detection of Ultrasound in Concrete // AIP Conference Proceedings 1581.— 2014. p. 814–821.

*Н. П. Кодак, студентка; А. С. Крюков, м.н.с.; В. В. Чегодаев, д.т.н.;
рук. В. П. Лунин, проф. (МЭИ, Москва)*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В статье описывается исследование численной модели вихретокового преобразователя (ВТП) с целью выбора его параметров для контроля циркониевых труб. Трехмерная математическая модель вихретокового контроля строилась с помощью метода конечных элементов [2].

На рис. 1 изображена геометрия модели, содержащей абсолютный накладной вихретоковый преобразователь (НВТП). Для уменьшения количества элементов и времени расчета было использовано свойство симметрии модели.

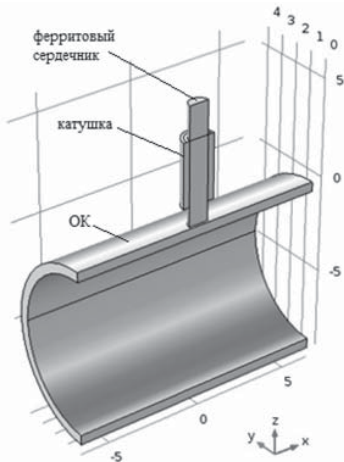


Рис. 1. Геометрия модели абсолютного НВТП. Размерность сетки — мм

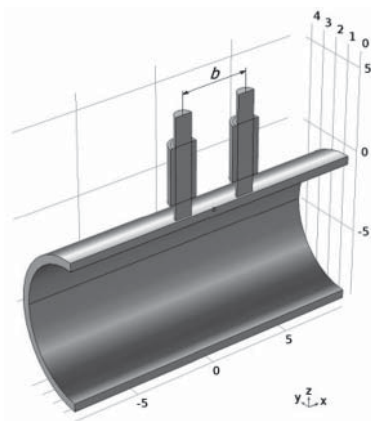


Рис. 2. Геометрия модели дифференциального НВТП. Размерность сетки — мм

В результате математического моделирования были подобраны условия вихретокового контроля. Получены сигналы от дефектов с различными геометрическими параметрами при прохождении дефекта под преобразователем. На основе анализа полученных сигналов делается вывод о возможности применения фазового метода обработки вихретоковых данных.

Литература

1. **Самойлов А. Г., Волков В. С., Солонин М. И.** Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов: Учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1996.
2. **Лунин В. П.** Метод конечных элементов в задачах прикладной электротехники, Москва 1996.

*Р. В. Концов, инженер 1 кат.; Г. М. Деликов, студент;
рук. В. К. Качанов, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОПОЛОГИИ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ НА РЕЗУЛЬТАТ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С НЕСТАНДАРТНОЙ КОНФИГУРАЦИЕЙ

подавляющее большинство ультразвуковых (УЗ) томографов строительных конструкций (СК) из бетона предназначены для контроля изделий с плоскопараллельными гранями (стены, перекрытия, фундаменты зданий). При контроле таких изделий антенная решетка (АР), как правило, располагается непосредственно над дефектной областью, а излучение и прием УЗ колебаний происходит по нормали. Однако в с развитием монолитного строительства все чаще встречаются конструкции нестандартной формы: возникают задачи УЗ контроля неплоскопараллельных объектов, цилиндрических колонн, области соединения стен, где дефект располагается в недоступной области для линейных АР. Разнообразие геометрии контролируемых поверхностей приводит к тому, что возникает необходимость создавать АР, которые имеют возможность адаптироваться под рельеф поверхности. Для таких АР необходимо разрабатывать соответствующие алгоритмы обработки сигналов, позволяющие в автоматическом режиме реализовывать наиболее распространенный в УЗ томографии алгоритм «фокусировка в точку» для АР, имеющей нестандартную конфигурацию, или создавать новые алгоритмы, ориентированные на поиск отражающих поверхностей нестандартной конфигурации (например, алгоритм, ориентированный на поиск отражающих плоскостей «фокусировка на плоскость»).

При всех случаях следует обеспечивать возможность обнаружения дефектов на фоне структурного шума (СШ), представляющего собой совокупное отражение от элементов структуры. Для этого при определении параметров АР следует находить компромисс в выборе шага АР между требованиями минимизации СШ и уменьшением влияния боковых лепестков АР.

В докладе приводятся результаты исследования различных топологий АР, предназначенных для томографии СК с нестандартными конфигурациями, полученные с помощью разработанного в МЭИ многофункционального адаптивного измерительного комплекса [1].

Литература

1. **Качанов В. К., Карташев В. Г., Соколов И. В., Концов Р. В., Федоров М. Б.** Ультразвуковая адаптивная многофункциональная дефектоскопия. — М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 175 с.

*П. П. Костенко, Д. А. Терентьев, В. А. Барат
(ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ»)*

ОПЫТ РАСЧЕТА, МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

В работе рассматриваются особенности конструкции преобразователей акустической эмиссии (ПАЭ), методов их калибровки, также описан опыт проектирования, в ходе которого, использованы расчеты по эквивалентным схемам замещения и результаты математического моделирования пьезоэлектрических процессов с помощью COMSOL Multiphysics.

Одной из основных характеристик ПАЭ считается его амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) — зависимость коэффициента преобразования от частоты. АЧХ ПАЭ имеет сложную форму и сформирована множеством факторов.

Чувствительным элементом ПАЭ является пьезокерамический диск или пластина. Характеристики преобразователя в наибольшей степени зависят от геометрии и состава именно этого элемента.

Согласно литературным данным [1–3], для построения АЧХ используют эквивалентные схемы замещения, которые позволяют рассчитать график зависимости электрического импеданса пьезоэлемента от частоты. На его основании можно судить о частотах резонанса и антирезонанса пьезоэлемента, которые во многом характеризуют АЧХ.

Для получения более точных характеристик в работе была использована математическая модель ПАЭ, построенная в COMSOL Multiphysics. Полученные при моделировании зависимости электрического импеданса от частоты и смещения поверхности от частоты близки к измеренным.

В работе также рассмотрены конструкционные решения, методы калибровки, результаты разработки и возникшие при этом проблемы. В ходе работы сконструирован и собран опытный образец преобразователя акустической эмиссии.

Литература

1. **Аронов Б. С.** Электромеханические преобразователи из пьезоэлектрической керамики. — Л.: Энергоатомиздат, 1990.
2. **Ермолов И. Н., Гитис М. Б., Королев М. В., Карпельсон А. Е., Мельканович А. Ф., Вopilкин А. Х.** Ультразвуковые пьезопреобразователи для неразрушающего контроля / Под общ. ред. И. Н. Ермолова. — М.: Машиностроение, 1986.
3. **Мэзон У.** Пьезоэлектрические кристаллы и их применения в ультразвуке. — М.: Издво иностранной литературы, 1952.

*А. О. Кузнецов, асп.; рук. Л. А. Чернов, к.т.н. (МЭИ, Москва), доц.;
О. Н. Будадин, д.т.н. (АО «ЦНИИСМ», Хотьково, Московская обл.)*

ВИХРЕТОКОВЫЙ МЕТОД И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

В большинстве классов многослойных изделий из полимерных композитных материалов (ПКМ) не допускается наличие металлических включений, не входящих в конструкцию изделий, что связано с особенностями эксплуатации таких изделий. Это обуславливает актуальность обнаружения малоразмерных металлических включений в готовых изделиях и в технологическом цикле их производства.

Для решения поставленной проблемы проведены исследования современного состояния методов и средств обнаружения малоразмерных металлических включений в многослойных неэлектропроводных конструкциях.

Например, в работе [1] описан способ контроля толщины теплозащитного покрытия (ТЗП) в изделии из ПКМ вихретоковым методом над подложками в виде металлических колец. В работе [2] описан способ определения глубины залегания малоразмерных металлических элементов известной формы и размера в изделиях из ПКМ. Исследования показали, что известные способы и технические средства не позволяют определить местонахождение малоразмерных металлических включений с произвольными месторасположением, формой и размером.

На основании проведенных исследований сформулирована цель научной диссертации и разработан перечень решаемых задач, направленных на усовершенствование существующих технологий контроля металлических включений в изделиях из ПКМ имеющих произвольное месторасположение и геометрическую форму.

Литература

1. Будадин О. Н., Кульков А. А., Козельская С. О., Щипцов В. С. Вихретоковый толщиномер для многослойных конструкций из диэлектрических материалов с кризисной поверхностью на основе интеллектуального преобразователя // Контроль. Диагностика. — 2015. — № 8. — С. 44–49.
2. Кузнецов А. О., Козельская С. О., Щипцов В. С., Абрамова Е. В. Разработка технологии вихретокового метода и аппаратуры обнаружения и определения глубины залегания малоразмерных металлических включений в полимерном композитном материале // Контроль. Диагностика. — 2017. — № 12. — С. 42–47.

Т. И. Макарова, асп.; Н. В. Мелешко, доц.; рук. В. П. Лунин, д.т.н., доц., зав. Кафедрой ЭИ (НИУ «МЭИ», Москва)

ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО И РАДИОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ ТОЛЩИНОЙ МЕНЕЕ 8 ММ

Доклад содержит практические данные сравнительного анализа результатов ультразвукового и радиографического контроля сварных соединений из аустенитных сталей толщиной 5–5,5 мм.

Аустенитные сварные соединения являются наиболее распространенными элементами конструкций в нефтехимической, атомной и других областях машиностроения. На данный момент такие сварные соединения могут быть проконтролированы несколькими видами неразрушающего контроля такими, как радиографический, ультразвуковой и магнитный.

Радиографический метод контроля имеет ряд недостатков: применение дорогостоящего оборудования и расходных материалов; специально подготовленный персонал; опасность для здоровья [1]. Именно поэтому на промышленных предприятиях наиболее актуальной задачей является возможность замены данного метода на ультразвуковой метод.

Работы проводились на базе дефектоскопа OmniScan SX с 16-элементной фазированной решеткой с частотой 5,0 МГц. Основные параметры контроля были выбраны согласно СТО 00220256-014-2008 «Инструкция по ультразвуковому контролю стыковых, угловых и тавровых сварных соединений химической аппаратуры из сталей аустенитного и аустенитно-ферритного классов с толщиной стенки от 4 до 30 мм».

Настройка скорости УЗ волн, задержка в призме и корректировка угловой чувствительности осуществлялась по цилиндрической поверхности СО-3. Проверка контролепригодности сварного соединения осуществлялась по угловым отражателям типа «зарубка», выполненным в нижней и верхней частях сварного соединения. Секторное сканирование производилось в диапазоне углов 40–75°.

Для сравнительного анализа были предоставлены шесть образцов сварных соединений (четыре стыковых соединения и два тавровых).

По результатам работ можно сделать положительное заключение о сопоставимости результатов ультразвукового контроля дефектоскопом на фазированных решетках с результатами радиографического контроля.

Литература

1. **Щербинский, В. Г.** Технология ультразвукового контроля сварных соединений. — СПб.: СВЕН, 2014. — 495 с.

Е. А. Славинская, И. С. Савин, асп.;
рук. И. В. Терехин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДУЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЖИДКОЙ СТАЛИ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

Современное развитие непрерывного литья стали направлено в сторону повышения качества продукции и производительности. Качество заготовки зависит от точности определения уровня стали в кристаллизаторе. Измерение уровня металла сейчас осуществляется накладными вихретоковыми преобразователями (ВТП), которые регистрируют уровень косвенно по распределению температуры медной стенки кристаллизатора. Из-за инерции тепловых процессов меди при изменениях уровня в сигнале ВТП наблюдается временное запаздывание [1], что может привести к искажению информации о фактическом уровне стали. Устранить запаздывание можно, выделяя сигнал непосредственно от металла и отстраиваясь от экранирующего влияния стенки. Задача усложняется большим отличием электропроводности стали и меди.

Для проведения прямого контроля был разработан ВТП с отдельными блоками возбуждения и измерения, которые размещаются на противоположных либо смежных стенках объекта контроля. Авторами установлено [2], что реальный сигнал от совместного изменения уровня металла и температуры стенки отличается нелинейностью. По этой причине невозможно применять стандартные способы отстройки от изменения температуры на основе амплитуды и фазы. В работе предложен и исследован модуляционный метод, который подразумевает анализ пространственного распределения сигналов от непрерывных качаний кристаллизатора. Величина сигнала от качания зависит от близости уровня металла к измерительной катушке.

В рамках исследования создана междисциплинарная модель, с помощью которой вычислены сигналы от качаний температурного распределения на медной стенке и от металла, а также совокупный сигнал от их взаимодействия для накладного и экранного ВТП. По результатам моделирования проведен сравнительный анализ двух типов ВТП и выбрана оптимальная частота возбуждения.

Литература

1. Мерман Д., Шмид Й., Спагнул С. Быстрое и точное определение уровня металла в кристаллизаторах машин непрерывного литья // Черные металлы. 2012. № 3.
2. Савин И. С., Славинская Е. А., Терехин И. В. Вихретоковый контроль уровня металла в кристаллизаторе с помощью преобразователя экранного типа // Контроль. Диагностика. 2017. № 12.

D. Solyankina, stud. (MPEI); Dr.-Ing. S. Braeunig, Prof. Dr.-Ing. habil H. Toepfer (Technische Universität Ilmenau, Ilmenau, Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme IMMS GmbH, Germany), Dr. — Ing. V. Barat (MPEI)

THE METHOD OF PROCESSING THE SIGNAL OBTAINED DURING ACOUSTIC EMISSION TESTING OF COMPOSITE MATERIAL

Acoustic emission (AE) is the phenomenon of radiation of acoustic (elastic) waves in solids that occurs when a material undergoes irreversible changes in its internal structure. The goals of acoustic emission examinations in industrial applications today, are detection, location and assessment of flaws in structures made of metal, concrete or composites. In these materials, fracture development in form of crack propagation is a primary source of acoustic emission.

Nowdays, composite materials have been widely used in various fields. Polymer composite specimen cutted-out from multilayer carbon fiber panels. The acoustic-emission transducers (TAE) are located at a distance of 80 mm in the region of the specimen central cutouts. Experiment represents a tensile test and lasts 9 minutes. The loading is performed in 4 stages: 25% of failure load, 50% of failure load, 75% of failure load and 100% of failure load. While test of polymer composite the order of destruction is the next: binder matrix is the first, then adhesive lamina fails, and, finally, reinforcing filaments are broken. Each component of polymer composite produces acoustic impulses while its destruction. The data obtained are presented in Fig. 1.

As result of the work we have the dynamics of fracture of a specimen from this material. First, using a dynamic window. To find the optimal window size creates a mathematical model with set parameters that mimic real signals. The window applied to the model and the moment of distribution of a random variable of the 5th order is calculated. After that, the window with the selected parameters is applied to the real data. Using the selected threshold value, determines the number of AE sources. At the end of the graph of AE activity, that is, the number of AE sources in a unit of time.

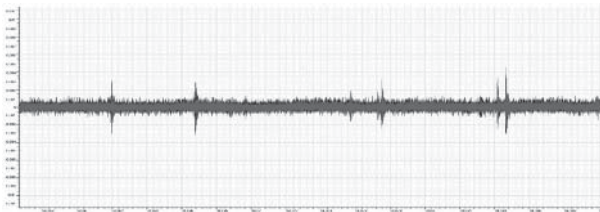


Fig. 1. AE — signal.

Д. А. Коновалов, студ.;
рук. Е. Г. Базулин, д.т.н. (НИУ «МЭИ», НПЦ «ЭХО+», Москва)

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИМПУЛЬСОВ В МАТЕРИАЛАХ СО СТРУКТУРНЫМ ШУМОМ

Для разработки алгоритмов уменьшения уровня структурного шума в эхосигналах нужно уметь его рассчитывать. Метод конечных разностей во временной области (КРВО) [1] позволяет моделировать распространение ультразвукового импульса в анизотропных материалах. Предполагалось, что структурный шум возникает при рассеянии импульса на границах кристаллитов. Их формирование происходит по принципу построения диаграмм Вороного [2] (рис. 1).

Чтобы убедиться в правильности результатов расчета нужно сравнить их либо с экспериментом, либо с проверенной теоретической моделью, предсказывающей поведение структурного шума. Сравнение расчетов КРВО с моделью Роуза [3] показало их различие на 10% в случае 5 МГц из-за смещения максимума и 5% и 6% для частот 1,25 и 2,5 МГц соответственно (рис. 2). Такое совпадение свидетельствует о корректности расчета эхосигналов со структурным шумом методом КРВО.

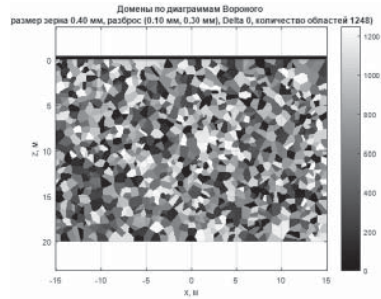


Рис. 1. Структура кристаллитов со средними размерами 0,5 мм

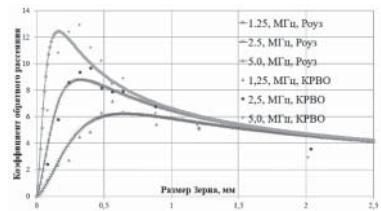


Рис. 2. Зависимость коэффициента обратного рассеивания от размеров кристаллитов

Литература

1. Бархатов В. А. Моделирование ультразвуковых волн методом конечных разностей во временной области. Двумерная задача. Оптимальные алгоритмы. Анализ погрешностей. Поглощающие области вблизи границ сетки // Дефектоскопия. 2009. № 6. С. 58–75.
2. Aurenhammer F. Voronoi diagrams — a survey of a fundamental geometric data structure // ACM Computing Surveys. 1991. 23 (3). P. 345–405.
3. Rose J. Ultrasonic backscattering from polycrystalline aggregates using time-domain linear response theory. In D. O. Thompson & D. E. Chimenti, eds. Review of Progress in Quantitative NDE // 1991. Vol. 10. — New York: Plen. — P. 1715–1720.

Г. Д. Марданов, асп.;
рук. В. А. Голенищев-Кутузов, д. ф.-м. н., проф. (КГЭУ, Казань)

ДИСТАНЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ДЕФЕКТОВ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗОЛЯТОРАХ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Разработан комплексный метод дистанционной диагностики опорных и подвесных высоковольтных изоляторов (ВИ), основанный на компьютерном анализе динамических (отдельных импульсов) и усредненных по интервалам периодов сети характеристик частичных разрядов (ЧР). Показано, что таким методом в ряде случаев можно определить вид и место его расположения на основании анализа определенных характеристик ЧР оценки рабочего состояния изолятора [1].

На основе выполненных экспериментов по детектированию ЧР дистанционно с помощью электромагнитного приемника на серии ВИ типов ЛК 35/70 и ИОС 110/400 были обнаружены последовательности излучаемых импульсов ЧР, относящиеся к различным видам дефектов. Основное внимание было обращено на самые сильные дефекты, представляющие наибольшую опасность для дальнейшего нормального функционирования ВИ. В первую очередь по характеристикам ЧР и визуальному осмотру относятся дефекты, возникающие на границах диэлектрической стержень–металлический оконцеватель. Причиной тому является микроскопический воздушный зазор, создающий сильный градиент поля вблизи поверхности диэлектрика. При длительной эксплуатации на приповерхностном слое может происходить ускоренное старение и даже разложение диэлектрической среды [2].

На основе проведенных экспериментов и компьютерного анализа характеристик ЧР разработана общая схема выделения таких параметров ЧР, которые могли бы характеризовать вид дефекта. Помимо указанных в ГОСТе Р55191-2012 интенсивности и числа ЧР нами предложено измерять фазовые сдвиги и число наиболее мощных ЧР, а также асимметричность распределения по положительным и отрицательным полупериодам сети.

Литература

1. **Голенищев-Кутузов А. В., Голенищев-Кутузов В. А., Хуснутдинов Р. А., Марданов Г. Д.** Комплексный дистанционный контроль высоковольтных изоляторов в условиях эксплуатации // *Электротехника*. — 2017. — № 2. — С. 71–73.
2. **Вдовико В. П.** Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования. — Новосибирск: Наука, 2007. — 156 с.

Направление

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА,
ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА
И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ**

Научный руководитель направления —
директор ИЭТ, к.т.н., профессор С.А. Грузков

Секция 21

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ

Председатель секции — к. т. н., доцент С. В. Ширинский
Секретарь секции — ст. преподаватель В. И. Гончаров

Агуасси Течи М. Ж., студ.;
рук. Ю. Б. Казаков, д. т. н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

УТОЧНЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ УСТАНОВОК ПЕРЕРАБОТКИ САХАРНОГО ТРОСТНИКА С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ

Современный и эффективный способ извлечения сока из сахарного тростника предусматривает использование мельницы, состоящий из трех терочных цилиндров, которые вращаются в противоположных направлениях. Качество переработки тростника зависит от скоростей вращения цилиндров, которые должны меняться в зависимости от объема поступающего сырья. Требованиям широкого, плавного и экономичного регулирования частоты вращения, высоких перегрузочных способностей (масса цилиндров достигает 18 т), тяжелым режимам работы в напряженных климатических условиях наиболее соответствуют высоко использованные двигатели постоянного тока (ДПТ) с шихтованной многогранной станиной, распределенной компенсационной обмоткой и интенсивным охлаждением [1].

Рассматривался ДПТ мощностью 590 кВт с номинальной частотой вращения 1170 об/мин, напряжением 600 В, высотой оси вращения 355 мм (российская серия П2, европейская серия LSK), защищенного исполнения при независимой вентиляции с двигателем-вентилятором (IC17) при работе в условиях тропического климата Кот-д'Ивуара с влажностью окружающей среды и сырья до 90% и температуре окружающей среды до 35°C с регулированием частоты вращения в пределах 1:5 номинальной частоты вверх и вниз. При расчетах [2, 3] и численном моделировании рассмотрено влияние особенностей конструкции, режимов работы и климатических факторов на характеристики ДПТ серии LSK. Предложена модификация конструкции и распределения обмоток для снижения перегревов элементов двигателя.

Литература

1. www.leroy-somer.com/_popup/en/downloads/catalogues.
2. **Гурии Я. С., Кузнецов Б. И.** Проектирование серий электрических машин. — М: Энергия, 1978. — 480 с.
3. **Казаков Ю. Б.** Влияние способа распределения обмоток возбуждения на характеристики неявнополюсных двигателей смешанного возбуждения // Вестник ИГЭУ. — 2007. — № 3. — С. 3–6.

*А. А. Каржевин, студ. ;
рук. В. П. Шишкин, к.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)*

О ТОЧНОСТИ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АДЭП

В данной работе рассматривается проблема точности инженерного проектирования асинхронного двигателя с экранированными полюсами (АДЭП). В качестве основы для проектирования взята методика В.П. Ермолина [1], на базе которой выполняются проектировочные и поверочные расчеты. Однако расчет параметров по данной методике, в частности индуктивных сопротивлений, имеет неточности, что показано в диссертации [2].

Происходящие в АДЭП процессы крайне сложны для исследования, что объясняется наличием на полюсах короткозамкнутых витков и полюсных наконечников, наличием магнитных шунтов между полюсами статора, а также резко эллиптическим полем, создающимся в двигателе.

Для уточнения методики было предпринято:

- 1) Проведено лабораторное испытание реально существующего АДЭП мощностью 2 Вт, получены характеристики холостого хода, короткого замыкания, нагрузочная.
- 2) В существующую инженерную методику, с учетом поправок, занесена геометрия исследуемого электрической машины.
- 3) По полученным данным построена модель в среде ANSYS MAXWELL. Методами численного моделирования методом конечных элементов получены данные режима холостого хода и нагрузки близкие к расчетным и экспериментальным.

Оставшиеся этапы уточнения методики:

- 1) Расчет пусковых и рабочих характеристик двигателя с использованием матричных уравнений токов.

Уточненная методика расчета позволит получить более точные данные о двигателе на стадии проектирования, что может способствовать созданию машин с лучшими энергетическими показателями, а также экономии на материалах.

Литература

1. **Ермолин Н. П.** Электрические машины малой мощности. М.: Высш. шк., 1967. — 503 с.
2. **Царева А. А.** Исследование асинхронного двигателя с экранированными полюсами: дис. магистра электротехники и электроэнергетики. ИГЭУ им. Ленина. Иваново, 2016.

А. С. Хайлов, асп.; рук. Т. Т. Амбарцумова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

В настоящее время весьма актуальной является проблема экономичного использования вырабатываемой в стране электрической энергии, свыше 40% которой потребляют асинхронные двигатели.

Экономичность использования электроэнергии связана с проблемой повышения коэффициента мощности, являющегося наряду с коэффициентом полезного действия основной энергетической характеристикой асинхронного двигателя.

Работа посвящена вопросам создания асинхронного двигателя с автокомпенсацией реактивной мощности и моделированию «многоконтурных» асинхронных двигателей на основе зависимостей, дающих адекватный учет энергообмена в динамике. Новое качество, приобретаемое короткозамкнутым асинхронным двигателем, достигается с помощью двух специально расположенных в пазах статора многофазных обмоток, одна из них, D-обмотка, обеспечивает работу в двигательном режиме, а другая K — конденсаторная, реализующая вместе с ротором функцию генерирования и возврата обратно в сеть реактивной мощности с опережающим током. Запускается двигатель как обычный короткозамкнутый, при параллельном подключении обеих обмоток к питающей сети. В двигателе имеет место непрерывное вращающееся магнитное поле с той особенностью, что статорная обмотка K взаимодействуя с результирующим полем машины, образует встроенный в двигатель элемент в виде синхронной машины, способной работать в режиме генератора с опережающей реактивной мощностью. Разработка относится к многополюсным машинам. В ряде случаев для нерегулируемых электроприводов тихоходные асинхронные двигатели могли бы конкурировать с крупными синхронными двигателями, применяемыми, например, на гидравлических насосных станциях, а также в тиристорно-частотных регулируемых электроприводах. Анализ асинхронного двигателя с автокомпенсацией реактивной мощности позволяет с оптимизмом смотреть на перспективы применения подобных машин, поскольку возникновение в обмотке статора асинхронной машины компенсирующей реактивной мощности с опережающим током здесь достигается исключительно благодаря схеме статорной обмотки и параметров, которыми должна обладать беличья клетка ротора, без привлечения дополнительных устройств.

*В. О. Князев, студент;
рук-ли А. С. Иванов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»), А. Ю. Мильшин,
руководитель отдела (АО «Р-Фарм», Москва)*

ЛИНЕЙНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ПРИВОДА МЕДИЦИНСКОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В медицине для первичной обработки жидких проб используют специальные аппараты — лабораторные шейкеры (встряхиватели). С помощью данных устройств происходит перемешивание жидкостей (растворов), а также их разделение на отдельные разные по характеру доли, экстракции и диффузии за счет колебательно-вращательного движения или встряхивания исполнительного механизма.

В известных лабораторных встряхивателях используются электродвигатели вращательного типа с промежуточным кинематическим звеном либо со специальным эксцентриковым валом. Дополнительные звенья снижают надежность и технологичность устройства, увеличивают массу и габариты.

Внедрение линейного двигателя постоянного тока (ЛДПТ) в состав привода исполнительного органа шейкера позволяет исключить использование промежуточных кинематических звеньев для осуществления возвратно-поступательного движения. Привод на его основе обладает высоким быстродействием и сравнительно малым энергопотреблением. Поэтому разработка таких двигателей является весьма актуальной задачей.

В рамках научно-исследовательской работы по данным предварительного теоретического расчета ведется создание модели ЛДПТ в программной среде COMSOL MULTIPHYSICS. Для корректной работы такого электромагнитного устройства крайне важно решать комплексную задачу расчета переходных процессов как электромагнитных, так и механических.

Задачи модельного исследования:

- анализ кривых тяговых усилий магнита при различных конфигурациях штока с фиксированными размерами катушки возбуждения;
- определение оптимального количества витков катушки возбуждения;
- оценка переходных процессов, протекающих в магните в процессе его движения, и их влияние на тяговое усилие, развиваемое магнитом.

По результатам модельного исследования произведен оптимизационный расчет, который позволит спроектированному электромагнитному устройству работать в наиболее энергоэффективном режиме.

*Е. С. Липатова, студ.;
рук. В. Б. Баль, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ЛИНЕЙНЫЙ синхронный генератор на постоянных магнитах

Долгое время развитие линейных синхронных генераторов возвратно-поступательного движения было затруднено в связи с низкими энергетическими показателями, большой массой и недостаточной надежностью конструкций. Применение в таких генераторах высокоэнергетических постоянных магнитов на базе редкоземельных элементов создает возможность уменьшения массы системы возбуждения. Линейный синхронный генератор на постоянных магнитах (далее ЛСГПМ) есть результат поиска оптимального промежуточного звена между классическими ДВС (двигателем внутреннего сгорания) и «чистой» электротягой. Использование в гибридных схемах ДВС, механической трансмиссии, отдельного генератора является громоздким, дорогим и трудно оптимизируемым решением преобразования тепловой энергии сгорания топлива в электрическую энергию. Вместо этого предлагается использование на борту транспортного средства интегрированной силовой установки, состоящей из двигателя внутреннего сгорания со свободным поршнем и линейного электрического генератора.

Принцип свободного поршня дает уникальные возможности для реализации усовершенствованных стратегий сгорания, таких как гомогенное зажигание сжатого заряда, в котором зажигание топливно-воздушной смеси происходит, когда газовое давление и температура сохраняют оптимальные значения в течение хода сжатия. Скорость поршня может контролироваться в каждом рабочем ходе. Как результат, может быть существенно улучшена топливная экономичность и снижены выбросы.

Рассмотрены вопросы разработки конструкции и проектирования линейных генераторов малой и средней мощности с высокоэнергетическими постоянными магнитами. Выявлены основные соотношения для электромагнитного расчета и выявлены достоинства и недостатки линейного генератора с возвратно-поступательным движением и линейного синхронного генератора на постоянных магнитах (ЛСГПМ). Показано, что конструкция ЛСГПМ имеет ряд преимуществ, в частности, повышенная виброустойчивость, возможность обеспечения меньшей массы и размеров подвижного элемента. Показаны возможности применения таких генераторов в качестве источников питания для электроэнергетических комплексов автономных объектов. Приводится вариант конструкции линейного генератора, а также результаты расчета его характеристик и параметров.

*А. П. Океанский, студ.; А. Н. Морозов, асп.;
рук. Ю. Б. Казаков, д. т. н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ НЕСИММЕТРИЙ СИНХРОННЫХ МАШИН НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Важнейшим источником информации о состоянии электрических машин является их внешнее электромагнитное поле (ВЭМП). На основе анализа ВЭМП по результатам измерений уже выполняется диагностика состояния асинхронных двигателей (АД). В то же время диагностика синхронных машин (СМ) на основе анализа их ВЭМП выполняется редко, хотя изменения в ВЭМП могут свидетельствовать о неисправностях СМ. Важно прогнозирование работоспособности СМ и сроков выхода их строя, так как внезапный отказ синхронных генераторов может приводить к значительному материальному ущербу [1].

Наиболее распространенными повреждениями СМ являются повреждения обмоток возбуждения и якоря. Выявление выгораний или витковых замыканий в обмотках ротора и статора, обрыва параллельных ветвей является трудной задачей технической диагностики. Эти неисправности вызывают несимметрию ВЭМП СМ. Исследование особенностей и характера несимметрии ВЭМП позволят судить о видах этих неисправностей [2].

Методами численного моделирования методом конечных элементов выявлены изменения ВЭМП СМ при электромагнитных несимметриях в статоре и роторе при разных степенях и характерах нагрузки. Представлены количественные показатели ВЭМП в процентах от нормального состояния для СМ в режимах холостого хода, при активно-индуктивной нагрузке, фиксированном положении ротора и уменьшении поля возбуждения под полюсом.

Литература

1. **Полищук В. И.** Развитие теории построения систем диагностики синхронных машин: Автореф. дисс. ... д-ра тех. наук. — Самара, 2016. — 36 с.
2. **Казаков Ю. Б., Морозов А. Н., Океанский А. П.** Диагностика электромагнитных несимметрий по внешнему полю электрических машин // «Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологий»: V Всеросс. науч.-техн. конф. — Тольятти: Изд-во ТГУ, 2017. — С. 376–380.

*А. А. Ооржак, студент;
рук. Н. И. Сентюрихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

В связи с загрязнением окружающей среды в настоящее время происходит интенсивное развитие мирового рынка электрических транспортных средств, не оказывающих вредного воздействия на окружающую среду. За последние полвека широкое техническое развитие и оснащение получили электромобили [1].

Моделирование рекуперативных режимов (РР) асинхронного двигателя (АД) электромобиля открывает новые возможности для повышения его энергетической эффективности, в частности, экономии энергии за счет большей отдачи энергии в аккумулирующее устройство. Настоящая работа посвящена исследованию рекуперативных режимов АД путем математического моделирования конечно-элементным методом. Метод конечно-элементного моделирования дает адекватный результат и позволяет теоретически описать динамику процессов в АД.

Моделирование предполагается проводить с помощью ПО COMSOL Multiphysics для мультифизического моделирования. Для составления математической модели предлагается поэтапное решение задачи: I этап: составление 2D модели АД традиционной конструкции, с алюминиевым ротором. II этап: составление 3D модели АД модифицированной конструкции, с разными вариантами роторов. Объектами исследования выбраны короткозамкнутые ротора: алюминиевый, медный, железный и сверхпроводящий.

Результаты. I этап. Традиционная конструкция АД позволила решить задачу построения поля (рис. 1). РР добиваемся имитационным методом, задавая частоту вращения ротора больше синхронной.

В дальнейшем поставлена задача исследования РР, сравнительный анализ характеристик разных роторов, подбор оптимальной конструкции, и получение численных значений отданной в сеть энергии.

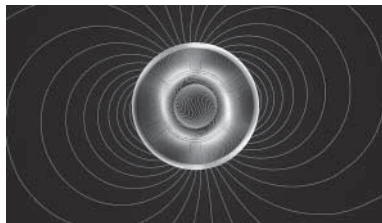


Рис. 1. Картина поля 2D модели

Литература

1. **Фетисов А. В.** Исследование процессов рекуперативного торможения гибридных тягово-транспортных средств. — 2011. — С. 131.
2. **Ставров О. А.** Перспективы создания эффективного электромобиля. — М.: Наука, 1984. — 28 с.

К. В. Рыжиков, студ.; рук. В. И. Гончаров ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР ИНДУКТОРНОГО ТИПА С ГИБРИДНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Синхронные генераторы индукторного типа с кольцевой обмоткой возбуждения, расположенной на статоре и создающей аксиальное поле, обладают тем преимуществом, что, во-первых, они бесконтактны, во-вторых, допускают большие скорости вращения и, в-третьих, позволяют плавно регулировать выходное напряжение. Размещение постоянных магнитов на роторах генераторов этого типа позволяет в тех же габаритах повысить мощность и одновременно повысить надежность их работы.

Магнитное поле в генераторах рассматриваемого типа существенно трехмерно. В [1] предложен способ расчета характеристик этих машин на основе двухмерного подхода, в том числе предложена двухмерная конечно-элементная модель, позволяющая воспроизвести в активной зоне машины как униполярное поле, созданное обмоткой возбуждения, так и поле обмотки якоря. Однако специальный прием, используемый при формировании этой модели (создание искусственных дополнительных внешних границ области задачи путем рассечения плоской модели), приводит к тому, что модель становится принципиально приближенной. В работе поставлена задача оценить точность предложенного двухмерного подхода, воспользовавшись современными достижениями в программировании трехмерных полей. На первом этапе работы проводится сравнительная оценка программ на двухмерных моделях, в дальнейшем предполагается создание трехмерной модели генератора.

Развитие работы предполагает использование мультифизических моделей и на этой основе — усовершенствование инженерной методики проектирования электрических машин рассматриваемого типа.

Литература

1. **Иванов-Смоленский А. В., Глазков В. П., Гончаров В. И.** Электромагнитный расчет индукторного генератора с униполярной обмоткой возбуждения на статоре // Электричество. — 2007. — № 10.

М. В. Сахаров, студ.;
рук. В. Н. Караулов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБРАЩЕННОГО СДПМ ПРИВОДА ЛЕБЕДКИ

В данной работе рассматривается проблема инженерного проектирования обращенного синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ) частотно-управляемого привода лебедки на основе существующих методик проектирования. В качестве основы для проектирования взята методика В. А. Балагурова [2], на базе которой выполняются проектировочные и поверочные расчеты. Однако данная методика не учитывает особенности эксплуатации проектируемой машины: работу в составе частотного привода и наличие требований не к частоте вращения, но к скорости каната, а также к габаритам машины [1].

Основные черты скорректированной методики:

- 1) Проектирование машины начинается с выбора внешнего диаметра ротора-барабана. Он выбирается максимально близким к ограничениям габаритов по ТЗ, а длину машины, соответственно, требуется уменьшать. Это способствует улучшению теплового состояния магнитов, что положительно сказывается на энергетических показателях [3].
- 2) Выбор числа пар полюсов осуществляется на основе требований к минимальной, номинальной и максимальной требуемым частотам вращения и характеристикам применяемого преобразователя частоты (ПЧ). На основе полученного соответствия частот вращения и требуемых частот напряжения определяют номинальную частоту напряжения ПЧ и соответствующее ей число пар полюсов.
- 3) Параметры и характеристики спроектированной машины для проверки достоверности полученных результатов сопоставляются с полученными в среде ANSYS MAXWELL.

Скорректированная методика проектирования позволяет получить обращенный двигатель, с учетом особенностей его работы. В дальнейшем планируется спроектировать несколько двигателей разных мощностей и скоростей для проверки методики.

Литература

1. **Меньшов Б. Г., Яризов А. Д., Ершов М. С.** Электротехнические установки и комплексы в нефтегазовой промышленности: Учеб. для вузов. — М.: Недра, 2000. — 487 с.
2. **Балагуров В. А.** Проектирование специальных электрических машин переменного тока: Учеб. пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 1982. — 272 с.
3. **Науменко В. И., Ключков Г. И.** Авиационные электрические машины с интенсивным охлаждением. — М.: Машиностроение, 1977. — 128 с.

А. О. Сидоров, асп.; рук. В. Я. Беспалов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ДРОБНЫМ Q

Схемы построения обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу q известны достаточно давно и нашли множество областей применения. Однако в литературе по проектированию малошумных электрических машин использовать такие схемы не рекомендуется [1]. Тем не менее, обмотки с дробным q были реализованы во многих специальных электрических машинах переменного тока, что позволило улучшить характеристики машины, в том числе и по виброакустическим показателям.

В качестве объектов исследования в работе рассматриваются асинхронный двигатель и синхронный двигатель с постоянными магнитами. Мощность электрических машин одинакова — по 37 кВт, а число пазов на полюс и фазу принято равным 6/5. С целью выявления гармоник, присутствующих в спектрах МДС обмотки и индукции в воздушном зазоре, с помощью конечно-элементной программы FEMM моделировалось двумерное стационарное магнитное поле. Результаты гармонического анализа поля в зазоре свидетельствуют о наличии в кривой индукции низших гармоник или субгармоник. Показано, что в случае дробного q в асинхронной машине образуется множество гармоник дробного порядка, в отличие от синхронной машины с постоянными магнитами.

Кроме того, в работе проводится сравнение гармонических спектров синхронного двигателя с постоянными магнитами при использовании обмоток с целым и дробным q . Показано, что дробное число пазов на полюс и фазу позволяет существенно повысить порядки зубцовых гармоник, что приводит к снижению амплитуды электромагнитных составляющих шумов и вибраций.

С помощью аналитических выражений выявлены частоты действия электромагнитных сил, в том числе и обусловленных субгармониками. С целью уменьшения амплитуд субгармоник выполнена оптимизация шага обмотки. Проведен расчет коэффициентов распределения для субгармоник, дробных и высших гармоник, представлен анализ, в результате которого приводятся рекомендации по использованию формул для вычисления коэффициентов распределения гармоник при дробном q .

Литература

1. **Шубов И. Г.** Шум и вибрация электрических машин. — Л.: Энергия, 1973.

*М. В. Сундуй, студент;
рук. Ю. А. Мощинский, к.т.н., доц. (ФГБОУ НИУ МЭИ, Москва)*

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С СОВМЕЩЕННЫМИ ОБМОТКАМИ

В настоящее время для повышения эффективности использования синхронных и асинхронных двигателей рекомендуется использовать совмещенные обмотки на статоре вместо обычных. Они получаются из обычных обмоток путем разделения их на две равные части, которые соединяются по схемам «звезда» и «треугольник» параллельно или последовательно. Это позволяет увеличить коэффициент распределения, уменьшить дифференциальное рассеяние, в результате коэффициенты полезного действия и мощности возрастают, а потребляемый из сети ток уменьшается [1].

Сущность разработки вытекает из того, что в зависимости от схемы подключения трехфазной нагрузки к трехфазной сети (звезда или треугольник) можно получить две системы токов. Соответственно, к трехфазной сети можно подключить электродвигатель, имеющий не трехфазную обмотку, а шестифазную. При этом часть обмотки должна быть включена в звезду, а часть в треугольник и результирующие вектора индукции полюсов одноименных фаз звезды и треугольника должны образовывать между собой угол в 30 электрических градусов.

В работе рассмотрен асинхронный двигатель с совмещенными обмотками на статоре и способы его моделирования. Представлены схемы замещения асинхронного двигателя. Для исследования был взят за основу асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Проведен расчет асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью $P_2=1,5$ кВт, $U=127/220$ В отдельно для звезды и отдельно для треугольника. Исследованы пусковые и рабочие характеристики. Представлена математическая модель трехфазной обобщенной машины с двумя обмотками, сдвинутыми в пространстве на угол 30 градусов.

Литература

1. **Попов В. И., Петров Ю. Н.** Трехфазные, специальные и совмещенные обмотки для электрических машин переменного тока. Основы теории и расчета Н. — Нижний Новгород: ВТИПИ, 1995. — 360 с.

*М. В. Фрольцова, студентка;
рук. Н. И. Сентюрихин, доц. (ФГБОУ НИУ МЭИ, Москва)*

СУХОЙ ТРАНСФОРМАТОР

Силовой трансформатор является одним из важнейших элементов электрических сетей и электроустановок. До последней трети прошлого века, в электросетях использовались в основном масляные силовые трансформаторы. Однако за последние 30 лет вместо них все чаще применяются сухие силовые трансформаторы, представляющие собой один из современных пожаро- и экологически безопасных типов трансформаторов, у которых активная часть, включающая в себя магнитопровод и обмотки высшего и низшего напряжения, не погружены в трансформаторное масло, кремнийорганическую жидкость или какой-либо другой диэлектрик. Этим сухие трансформаторы существенно отличаются от традиционных конструкций масляных трансформаторов.

Востребованность в сухих трансформаторах подтверждается еще и тем, что требования по экологической и пожарной безопасности с каждым годом все более ужесточаются.

Свыше 30% общего числа установленных трансформаторов отработало определяемые стандартами сроки службы. Это говорит о том, что с каждым годом вопрос о модернизации и переоснащении парка трансформаторов ЕЭС РФ будет становиться все актуальнее, а требования эффективности и экономичности производства, передачи и распределения электрической энергии будут возрастать.

В работе рассмотрена конструкция, процессы производства и преимущества сухого трансформатора по сравнению с трансформатором масляного типа. Будет также спроектирован сухой трансформатор с литой изоляцией, рассмотрена эффективность применения данного трансформатора в энергосистеме по сравнению с масляным трансформатором и сделан вывод о целесообразности применения сухих трансформаторов в долгосрочной перспективе.

*И. С. Снитько, аспирант;
рук. В. А. Мартынов, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ СИМВОЛИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ МНОГООБМОТОЧНЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В многообмоточных силовых трансформаторах при синусоидальных источниках электрической энергии вследствие нелинейности кривых намагничивания стале-лей и явления гистерезиса токи и (или) потокосцепления ветвей в общем случае несинусоидальны. В общем случае магнитную цепь трансформатора можно представить состоящей из ферромагнитных тел, немагнитных областей заполненных проводниками с током, и немагнитных областей без проводников.

Как правило, расчетная схема электрической цепи содержит несколько электромагнитных устройств, например, трехфазных трансформаторов с различными схемами соединения обмоток, при этом значения напряжений, приложенных к ветвям трансформаторов, являются неизвестными. При анализе симметричных режимов работы таких цепей могут применяться любые известные методы расчета с существующими допущениями. Обычно они дают достаточную точность при небольших вычислительных затратах.

Для несимметричных режимов работы чаще всего используется метод симметричных составляющих, при использовании которого определение параметров схемы замещения для токов нулевой последовательности может представлять значительную трудность.

Предлагаемый символический метод анализа разветвленных магнитных цепей многообмоточных силовых трансформаторов основан на понятии комплексной магнитной проницаемости. Он предполагает использование кусочно-линейного метода Ньютона-Рафсона и позволяет с небольшими вычислительными затратами рассчитывать установившиеся режимы работы трансформаторов с учетом дискретности и несимметрии структуры обмоток, насыщения магнитной цепи и потерь в стали на гистерезис и вихревые токи, а также влияния технологических факторов при симметричных и несимметричных режимах работы. Данный метод может быть применен к расчету не только отдельных трансформаторов, но и к участкам энергосистем, содержащим большое количество различных электромагнитных устройств.

Секция 22

ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И КОМПОНЕНТОВ

Председатель секции — зав. каф. ФТЭМК д.т.н., профессор

С.В. Серебрянников

Секретарь секции — к.т.н., доцент В.К. Шеметова

Ю. В. Фадина, студ.;

рук. С. В. Серебрянников, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ ИЗОЛЯЦИИ

В электротехнических устройствах зачастую используются композиции, состоящие из нескольких электроизоляционных материалов. Это позволяет добиться улучшения их характеристик, однако инженеры сталкиваются с трудностями при получении точных теоретических решений для реальных сред, имеющих неоднородную структуру.

Рассмотрим формулу для расчета диэлектрической проницаемости статистических смесей с равноправными компонентами из [1]:

$$\varepsilon_r^n = V_1 \cdot \varepsilon_{r1}^n + V_2 \cdot \varepsilon_{r2}^n, \quad (1)$$

здесь $\varepsilon_r, \varepsilon_{r1}, \varepsilon_{r2}$ — относительная диэлектрическая проницаемость смеси, наполнителя и связующего, соответственно; V_1, V_2 — объемная доля наполнителя и связующего; n можно найти в [1].

По формуле (1), согласно электротепловой аналогии, можно рассчитывать коэффициент теплопроводности.

Недостатком расчета по формуле (1) является то, что она не учитывает форму частиц наполнителя в матрице. В [2] предложена следующая модель композитного материала: наполнитель в матрице представлен в виде правильных частиц круглой формы разных диаметров.

На практике невозможно получить частицы идеально круглой формы. Поэтому особый интерес представляет сопоставление значений рассчитанных параметров диэлектрика (в частности, коэффициента теплопроводности) с данными, полученными опытным путем.

Были проведены измерения коэффициента теплопроводности компаунда ЭЛПЛАСТ-180 ИД с добавлением кварца (табл. 1).

Таблица 1. Значения коэффициента теплопроводности для компаунда ЭЛПЛАСТ180-ИД с добавлением кварца при температуре 80°C

Объемное содержание SiO ₂ ,%	0	5	10	15
Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м*К)	0,170	0,174	0,195	0,207

Литература

1. **Столбовой Л. Н., Шарле Д. Л.** Анализ формул расчета диэлектрической проницаемости пенополиэтиленовой изоляции // Электротехника. 1987. Выпуск № 21Б.
2. **Xingay Huang, Pingkai Jiang, Toshikatsu Tanaka** A Review of Dielectric Polymer Composites With High Thermal Conductivity // IEEE Electrical Insulation Magazine. 2011. July/August — Vol. 27, No. 4.

*С. Д. Федотов, асп.; рук. С. П. Тимошенко, д.т.н., проф.
(НИУ МИЭТ, Москва, Зеленоград)*

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГАЗОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ КРЕМНИЯ НА САПФИРЕ

На сегодняшний день самым распространенным методом промышленного получения структур «кремний на сапфире» (КНС) является газофазная эпитаксия (ГФЭ). Применение стандартных для ГФЭ кремния газовых реагентов (SiCl_4 и SiHCl_3) в случае производства КНС невозможно, вследствие химического взаимодействия подложки сапфира и продуктов распада хлорсодержащих реагентов парогазовой смеси (ПГС) [1]. Применение ПГС, содержащей только моносилан (SiH_4) и H_2 , также затруднено взаимодействием атомарного Si с поверхностью сапфира при температурах около 1000°C и протеканием побочных реакций полимеризации с образованием полисиланов, загрязняющих слой Si [2, 3]. Однако проведение ГФЭ кремния в присутствии галогенсодержащих молекул, таких как хлориды, позволяет снизить плотность дефектов в КНС за счет удаления дефектов на стадии зарождения, а также подавить образование полисиланов [4].

Целью настоящей работы была разработка и оптимизация процесса формирования КНС с использованием ПГС, содержащей SiH_4 и SiCl_4 .

Структуры КНС диаметром 100 мм с ориентацией сапфира (1012) были сформированы в эпитаксиальном реакторе PE2061 (ф. «LPE», Италия). В качестве легирующей добавки был использован фосфин (n-тип). Слои осаждались по гидридно-хлоридному методу, подробно описанному в работе [5]. Исследуемый диапазон объемного отношения $\text{SiH}_4:\text{SiCl}_4$ был от 5:1 до 12:1. Температура осаждения в каждом процессе равнялась 950°C . Определено, что SiH_4 является основным источником Si, т. к. повышение его объемного расхода в ПГС (Q) на 40% увеличивает скорость роста (V_p) на 42%. Обнаружено, что SiCl_4 также может служить источником Si при 950°C , т. к. повышение его Q в 1,5 раза увеличивает V_p на 12%. Снижение эффекта автолегирования Si алюминием от подложки зафиксировано при увеличении Q SiH_4 на этапе формирования начального слоя КНС. Улучшение оптического качества поверхности слоя Si происходило при увеличении Q SiCl_4 . Научная новизна полученных данных подтверждена патентом Российской Федерации № 2618279 С1.

Литература

1. G. W. Cullen // J. Cryst. Growth, 1981, Vol. 9, pp. 107–125.
2. M.-C. Chang, J. Coburn // J. Vac. Sci. Tech., 1969, Vol. 8, Is. 3, pp. 1969–1976.
3. L. K. Orlov, S. V. Ivin // Semiconductors, 2011, Vol. 45, Issue 4, pp. 557–566.
4. M. Druminski, H. Schlotterer // J. Cryst. Growth 1972, Vol. 17, pp. 249–253.
5. E. M. Sokolov et al. // Semiconductors, 2017, Vol. 51, No. 13, pp. 1692–1697.

*В. Б. Глухенькая, студентка;
рук. М. С. Михайлова, к.х.н., доц. (НИУ «МИЭТ», Москва)*

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО НАНОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ И СТРУКТУРУ ТОНКИХ ПЛЕНОК $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$

Для увеличения быстродействия гибридных оптических интегральных схем, в частности устройств энергонезависимой оптической фазовой памяти (PCM), необходимо устранить задержки, вызванные оптоэлектронными преобразованиями. Применение материала $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ в PCM-устройствах, благодаря существенному различию оптических свойств, возникающему при обратимых фазовых переходах, позволит заменить электронные элементы микросхемы на оптические и обеспечит широкую полосу пропускания сигнала и низкий уровень помех.

Целью данной работы являлось исследование влияния импульсного наносекундного лазерного излучения на морфологию поверхности и структурные преобразования тонких пленок (ТП) $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$.

Исходные аморфные ТП толщиной 130 нм были получены методом магнетронного распыления материала мишени на подложки SiO_2 . ТП $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ облучались единичными импульсами Nd:YAG лазера с длиной волны 532 нм и длительностью 16 нс. Изменение морфологии поверхности ТП до и после воздействия лазерным излучением определялось с помощью профилометрии, оптической и растровой микроскопии; изменение структуры ТП исследовалось методом комбинационного рассеяния света (КРС).

При воздействии излучением с энергией ниже 57 мДж/см^2 изменение морфологии поверхности пленки не наблюдалось; в диапазоне энергий от 74 до 77 мДж/см^2 на поверхности ТП появляются однородные эллиптические белые пятна, а при энергиях выше $99,1 \text{ мДж/см}^2$ происходит абляция $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, что подтверждается результатами исследования морфологии. Спектры КРС ТП $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ до и после облучения имеют гауссово распределение и различаются по положению и форме пиков.

Анализ спектров КРС ТП позволил выделить 5 пиков с различной интенсивностью. Расшифровка пиков, полученных от пленок, подверженных лазерному излучению, показала, что их положение соответствует положению пиков ТП с кубической структурой fcc типа NaCl.

Таким образом, воздействие лазерным излучением на тонкие пленки $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ энергиями в диапазоне от 74 до 77 мДж/см^2 приводит к кристаллизации исследуемого материала в fcc-структуру.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ (проект № 17-79-10465).

Хейн Мьят Ко, асп.; рук. М. А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СТОЙКОСТЬ ПОДВЕСНОГО ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ ЗОНОВОЙ СВЯЗИ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

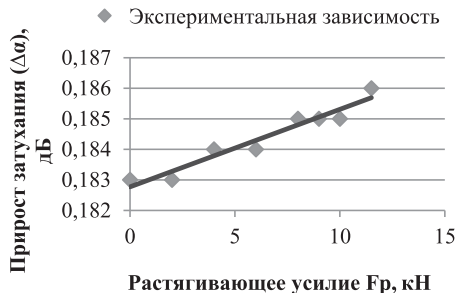


Рис. 1. Зависимость прироста затухания от растягивающего усилия

становке для испытаний на растяжение типа РРК-ЕК2.

Результаты испытаний показали (рис. 1), что при приложении растягивающего усилия происходит удлинение кабеля и растет затухание сигнала в оптических волокнах.

При приложении растягивающего усилия 12 кН и более к кабелю исследуемой марки прирост затухания превысил допустимое значение, что подтверждает заданную стойкость исследованного кабеля к механическим воздействиям.

Литература

1. Боев М. А., Хейн Мьят Ко. // Подвесной оптический кабель для зоновой связи // 23-я Международная научно-техническая конференция радиоэлектроника, электротехника и энергетика 2–3 марта 2017, Москва, Том 2. С. 52.

В данной работе представлены результаты исследования по стойкости к растягивающему усилию оптического кабеля марки ОПД-8х4А-12 [1], используемого для зоновой связи в тропическом климате.

Кабель указанной марки испытывался на стойкость к растягивающему усилию по методу, изложенному в ГОСТ Р МЭК 794-1 (метод Е1). Эксперименты проводились на специальной ус-

П. И. Коньшин, студ.;
рук. С. С. Серебрянников, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

Произведены исследования структуры и радиофизических свойств в диапазоне частот 10 МГц–60 ГГц композиционных гексагональных ферритов. Показано, что наличие примесей и их влияние на радиофизические характеристики феррита позволяет синтезировать как радиопрозрачные, так и радиопоглощающие материалы. Материалы с управляемыми диэлектрическими и магнитными свойствами будут эффективны при создании поглотителей с заданным уровнем коэффициентов поглощения, пропускания и отражения [1]. Разработана технология синтеза ферритмагнитных наполнителей и определены виды комплексов, которые можно вводить в полученную композицию

Проблема создания радиопоглощающих материалов и покрытий толщиной менее 2 мм обусловлена конкретными требованиями, которые предъявляются к ферритам, применяемым в СВЧ устройствах. Основные параметры, характеризующие гексаферриты, которые применяют в СВЧ устройствах, можно представить следующим образом:

- потери, как электрические, так и магнитные;
- температурные зависимости магнитных параметров;
- уменьшение магнитных потерь за счет высокой плотности материала.

Выбор состава феррита определяется рабочей полосой частот поглотителя электромагнитных волн (ПЭВ), выбор связующего — эксплуатационными характеристиками ПЭВ. Полученные гексаферриты обеспечивают поглощение электромагнитного излучения на уровне 20–30 дБ в диапазоне частот 10 МГц–60 ГГц при массе одного квадратного метра не более 5 кг.

Частотный интервал радиопоглощения корректируется путем изменения базового химического состава и газового режима в печи спекания ферритов. Примеси, содержащиеся в пограничной зоне между зёрнами, обеспечивают высокие значения диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь в области СВЧ частот.

Литература

1. **Wagner D. V., Dotsenko O. A.** Electromagnetic properties of Z-hexaferrites composites with magnetic texture // International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM. 2014. 6882494, pp. 132–135.

И. С. Коротаева, студ.;
рук. А. М. Балбашов, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛОВ ФЕРРИТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВА НА ПРИМЕРАХ $\text{SrCo}_x\text{Ti}_x\text{Fe}_{12-2x}\text{O}_{19}$ И $\text{SrCo}_x\text{Mg}_y\text{Fe}_{12-x-y}\text{O}_{19}$

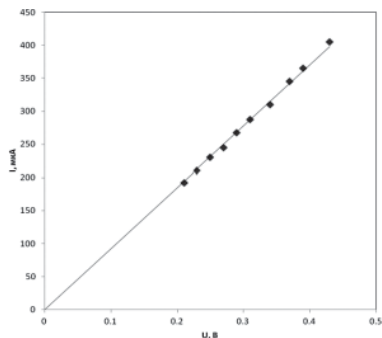


Рис. 1. ВАХ $\text{SrCo}_{0.6}\text{Ti}_{0.6}\text{Fe}_{10.8}\text{O}_{19}$

ВАХ, термо-ЭДС, диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь данных кристаллов, с различными концентрациями Co и Mg. Было выяснено, что варьирование концентрации Co в кристалле $\text{SrCo}_x\text{Ti}_x\text{Fe}_{12-2x}\text{O}_{19}$ и Mg в $\text{SrCo}_x\text{Mg}_y\text{Fe}_{12-x-y}\text{O}_{19}$ способствуют изменению вышеописанных характеристик материалов.

Полученные результаты открывают возможные перспективы использования исследуемых материалов в СВЧ-технике.

Литература

- Panda R. K.** Studies on electric and magnetic properties of cobalt ferrite and its modified systems // Doctor's thesis, 2015, India.
- Balbashov A. M., Egorov S. K.** Apparatus for growth of single crystals of oxide compounds by floating zone melting with radiation heating // J. Crystal Growth. 52 (1981) 498–504.

О. В. Манахова, студ.; рук. А. И. Тихонов, к.т.н. проф. (НИУ «МЭИ»)

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРОТЯЖЕННЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Работа посвящена статистическому моделированию проводимости композиционных материалов и расчету порогов протекания для материалов с протяженными включениями. Программные средства статистического моделирования разработаны на языке Python с использованием библиотек NumPy, SciPy, matplotlib [1].

Композиционные материалы широко применяются в промышленности и быту. Целью создания композиционных материалов является объединение схожих или различных компонентов для получения материалов с новыми заданными свойствами и характеристиками, отличными от свойств и характеристик исходных компонентов.

Одним из подходов в исследовании проводимости композиционных материалов является статистическое моделирование [2], заключающееся в генерации большого числа образцов с заданными статистическими характеристиками включений, в изучении влияния параметров протяженных проводящих включений на порог протекания и расчет относительных частот протекания. Расчет частоты протекания проводился по формуле:

$$P = (\text{число проводящих образцов}) / (\text{общее число образцов}). \quad (1)$$

Исследование показало, что изменение длины, распределения ориентации проводящих включений существенно влияют на частоту протекания.

Построены зависимости частоты протекания от концентрации проводящих включений, от средней длины включений при случайной, преимущественно горизонтальной и вертикальной ориентациях проводящих включений.

В докладе обсуждаются эти зависимости, а также возможности управления вероятностью протекания.

Литература

1. **Уэс Маккинли.** Python и анализ данных / Пер. с англ. Слинкин А. А. — М.: ДМК Пресс, 2015.
2. **Снарский А. А., Безсуднов И. В., Севрюков В. А.** Процессы переноса в макроскопически неупорядоченных средах: От теории среднего поля до перколяции. Изд. стереотип. — М.: Издательство ЛКИ, 2015.

Н. Е. Молчанов, аспирант; рук. М. А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ СУДОВЫХ КАБЕЛЕЙ

При изготовлении герметизированных судовых огнестойких силовых кабелей одной из основных проблем является герметизация многопроволочных токопроводящих жил. Сегодня используют два основных способа герметизации жил с использованием: герметизирующего геля, или при помощи нитей, лент, порошков, набухающих в воде. Возможна герметизация жил обоими способами одновременно [1].

Использование герметизирующего геля позволяет сделать токопроводящую жилу герметичной при продольном гидростатическом давлении до 10 МПа. Основным плюсом этого способа является полное заполнение воздушных пустот между проволоками жилы, по которым может просачиваться вода. Но основной недостаток этого способа заключается в сложной технологии нанесения геля.

Способ герметизации с помощью набухающих в воде нитей технологически прост и удобен. Однако в случае токопроводящих жил огнестойких кабелей, в которых используют кремнийорганическую изоляцию, не все нити могут подойти. При наложении резины, заготовка проходит операцию вулканизации в печах, температура внутри которых достигает 400°C. При такой температуре абсорбент, входящий в состав нитей, теряет способность набухать при впитывании воды и нити оказываются бесполезными, т. к. такая токопроводящая жила не способна выдерживать воздействие продольного гидростатического давления.

В данной работе исследовано влияние нагрева на способность нитей, различных марок [2], набухать при поглощении воды. Предварительно было измерено водопоглощение отрезков нитей, не подвергавшихся тепловому воздействию. Затем те же нити выдерживали при температурах 150, 250 и 280°C в течение 10 минут. После нагрева образцы охлаждали до комнатной температуры и измеряли величину их водопоглощения. Результаты испытаний показали, что способность поглощать воду утрачивают нити типа Geca-Tapes GTA20, Geca-Tapes GTA35 на 60% при температуре 150°C и выше. Нити типа Fiberline FL-K2840 утратили способность поглощать воду на 90% после выдержки при температуре 280°C.

Литература

1. **Боев М. А., Молчанов Н. Е., Косилов А. А.** Исследование продольной герметизации судовых кабелей с водоблокирующими материалами // «Вестник МЭИ» 2017, № 3, с. 47–50
2. Каталог фирмы Geca-Tapes, 2016 г., 213 с.

*Д. В. Пепеляев, студент;
рук. А. А. Шерченков, д.т.н., проф. (НИУ «МИЭТ»)*

ИССЛЕДОВАНИЯ РЕАКТИВНО-ИОННОГО ТРАВЛЕНИЯ И ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ТОНКИЕ ПЛЕНКИ $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$

Фазовая память (PCM) является одной из многообещающих энергонезависимых типов памяти нового поколения. В качестве активного материала используются соединения, лежащие на линии квазибинарного разреза $\text{GeTe-Sb}_2\text{Te}_3$, наиболее перспективным считается материал $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$. Для изготовления PCM ячеек необходимо проведение химической обработки и фотолитографии. В связи с этим целью данной работы является исследование реактивного ионного травления тонких пленок $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ с использованием различных газов, а также влияние химической обработки на тонкие пленки.

Тонкие пленки $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ были получены на установке магнетронного напыления МАГНА-М1, толщиной 130 нм. В качестве активных газов были использованы Ar и смесь $\text{Ar}+\text{SF}_6$. Основные параметры реактивно-ионного травления (РИТ) представлены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры реактивно-ионного травления

Газ	Скорость газа, л/ч	Время, мин	Мощность, Вт
Ar	Ar(2)	2	100
$\text{Ar}+\text{SF}_6$	$\text{Ar}(2)+\text{SF}_6(0.6)$	2	100

Кроме того было исследовано влияние химической обработки на тонкие пленки $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ в следующих растворах: KOH (0,6%); ДМФА; H_2O ; $\text{H}_2\text{O}+\text{CH}_3\text{COOH}+\text{HNO}_3+\text{H}_3\text{PO}_4$. Время выдержки в растворах составляло 5, 10, 20 и 40 мин.

В результате исследования было выявлено, что при использовании Ar в качестве активного газа для реактивно-ионного травления практически не приводит к изменению морфологии пленки. В то же время использование газа $\text{Ar}+\text{SF}_6$ сопровождается травлением тонкой пленки $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$.

В результате химической обработки тонких пленок $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ в соединениях: KOH (0,6%), ДМФА, H_2O травление и изменение морфологии не наблюдалось. В то же время в растворе $\text{H}_2\text{O}+\text{CH}_3\text{COOH}+\text{HNO}_3+\text{H}_3\text{PO}_4$ при выдержке более 6 минут тонкая пленка $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ начинает травиться.

Таким образом, в ходе исследования было определено, что в качестве активного газа для реактивно-ионного травления необходимо использовать $\text{Ar}+\text{SF}_6$, а в процессе химической обработки необходимо учитывать влияние раствора $\text{H}_2\text{O}+\text{CH}_3\text{COOH}+\text{HNO}_3+\text{H}_3\text{PO}_4$ на тонкие пленки $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$.

*К. В. Пискарев, магистрант; рук. Н. А. Морозов, к.т.н., доцент
(ИГЭУ им. В. И. Ленина, Иваново)*

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ

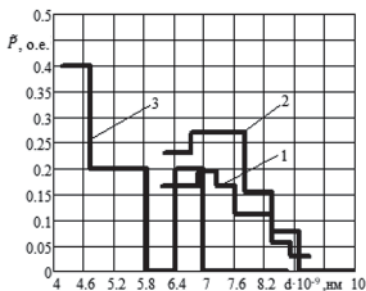


Рис. 1. Распределение частиц по размеру твердой фазы при механическом воздействии: 1 — до воздействия; 2 — после кратковременного воздействия; 3 — после длительного воздействия

и изменение намагничивания и гранулометрический состав (рис. 1).

Приведены интервалы распределения частиц по диаметрам твердой фазы исходной МЖ 1 и после механического воздействия при 500 об/мин.: кратковременного 2 и длительного, в течении 60 мин., воздействия 3. Гранулометрический состав рассчитывался по вкладу частиц разного размера в кривую намагничивания МЖ [2].

Механическое воздействие оказывает влияние на состав твердой фазы МЖ. После воздействия заметнее проявляются частицы меньшего диаметра, их количество растет, а число частиц большего диаметра уменьшается. Исследуемая МЖ устойчива к механическому воздействию, что характерно не для всех типов МЖ, которые расслаиваются от механического воздействия. В дальнейшем планируется исследование влияний механического воздействия на МЖ в магнитном поле.

Литература

1. **Марков В. В.** Влияние способа перемешивания технологических жидкостей на их структуру / В. В. Марков, Е. В. Киселева // Вестник ИГЭУ. — 2009. — № 3.
2. **Страдомский Ю. И.** Основы феррогидродинамики: учеб. пособие / Ю. И. Страдомский. — Иваново, ИГЭУ, 2004. — 108 с.

А. В. Скурихин, асп.;
рук. А. В. Костановский, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СВОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ДОБАВКАМИ ТЕРМОВЕРМИКУЛИТА

Производство и рациональное использование эффективных высокотемпературных теплоизоляционных материалов (далее — ВТИМ) позволяет обеспечить снижение: материалоемкости конструкций тепловых агрегатов, массу печей, непроеводительные теплотери в окружающую среду и общий расход топлива в печах.

Эффективным методом снижения объемного веса и теплопроводности остается применение натуральных пористых наполнителей, в т. ч. вермикулита. Термовермикулит, получаемый обжигом вермикулитового концентрата, обладает рядом уникальных свойств (таблица 1): малым объемным весом, низким коэффициентом теплопроводности, относительно высокой температурой плавления (не более 1400 °С), химически инертен, экологически безопасен, что обеспечивает перспективность его применения в качестве заполнителя при изготовлении ВТИМ и других материалов, используемых в строительстве, сельском хозяйстве, химической индустрии и энергетике (таблица 2).

Таблица 1. Свойства термовермикулита [1]

Объемный вес, кг/м ³	Размер зерен, мм	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м ² К при различных температурах в °С					
		0	20	50	100	250	500
140	0,5–3	0,05	0,056	0,065	0,077	0,116	0,184
160	0,1–1	0,046	0,052	0,055	0,06	0,077	0,112

Таблица 2. Свойства материалов с добавлением термовермикулита [2]

Материал	ρ , кг/м ³ , не более	$\sigma_{сж}$, МПа, не более	T_{max} , °С	λ при 25°С, Вт/м ² К
Битуовермикулит	550	0,75	150	0,095–0,12
Керамовермикулит	850	0,95	1150	0,081–0,19
Цементовермикулит	500	0,4–1,2	900	0,095–0,13

Литература

1. **Кальянов Н. Н. и др.** Вермикулит и перлит — пористые заполнители для теплоизоляционных изделий и бетонов. — Под ред. В. А. Китайцева // Гос. изд-во лит. по стр-ву, архитектуре и строит. материалам. М.: 1961 — 150 с.
2. **Панкратов В. А. и др.** Производство и применение в строительстве вермикулита Инаглинского месторождения.

Т. Е. Смирнова, В. В. Копьев, В. Л. Олейник, асп.;
рук. И. А. Прудаев, к. ф.-м. н., доц. (НИ ТГУ, Томск)

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛАВИННЫХ S-ДИОДОВ НА ОСНОВЕ АРСЕНИДА ГАЛИЯ

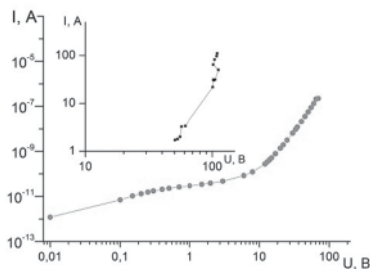


Рис. 1. Обратная ветвь ВАХ S-диода до переключения (1) и после (2)

корпуса с размещенным внутри кристаллом GaAs. Кристалл имеет π - v - n структуру, полученную в результате диффузии Cr и (или) Fe в GaAs n -типа. Атомы данной примеси образуют глубокие энергетические уровни и выступают в роли акцепторных центров, захватывающих свободные электроны. Эти ловушки уменьшают концентрацию свободных носителей заряда, образуя тем самым высокоомные области с p - и n -типом проводимости [1].

Ранее, при изготовлении структур для S-диодов использовали диффузию Fe в закрытой системе с постоянным давлением паров As. Основным недостатком данного метода является низкая воспроизводимость результатов, связанная с большим количеством технологических процессов. Альтернативой является проведение диффузии в открытой системе. В настоящей работе установлено, что в результате диффузии Fe в подложку из GaAs n -типа в потоке Ag формируется π - v - n структура, пригодная для изготовления быстродействующих лавинных S-диодов. На рисунке 1 показана обратная ветвь ВАХ такого диода. Проведенное исследование позволяет разработать перспективную технологию изготовления π - v - n структур для лавинных S-диодов.

Литература

1. Полупроводниковые приборы на основе арсенида галлия с глубокими примесными центрами / С. С. Хлудков [и др.]. — Томск: Издательский дом ТГУ, 2016. — 258 с.

*М. А. Соколов, студент; рук. А. А. Шерченков, д.т.н., проф.
(НИУ «МИЭТ», Москва, Зеленоград)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПЛАВОВ МАТЕРИАЛОВ ФАЗОВОЙ ПАМЯТИ

Халькогенидные полупроводники на основе системы Ge-Sb-Te активно исследуются в последнее время, что связано с перспективами их применения в электрической фазовой памяти (PCM). Для осуществления перехода из кристаллического в аморфное состояние (записи логического «0») в РСМ ячейках необходимо обеспечить нагрев программируемого материала выше температуры плавления. В этом случае, используя целенаправленное изменение параметров процесса плавления и электрофизических свойств расплава, можно оказывать существенное влияние на работу ячеек, в частности энергопотребление фазовой памяти. Однако исследование расплавов материала $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ в научно-технической литературе практически отсутствуют. В связи с этим целью данной работы было исследование процесса плавления и свойств расплавов (электрофизических и термических свойств и теплового эффекта) материалов фазовой памяти.

Исследования проводились на введенном в эксплуатацию программно-аппаратном комплексе для изучения электрофизических характеристик расплавов материалов электронной техники [1] и с использованием дифференциальной сканирующей калориметрии.

Вначале были проведены тестовые измерения материалов Se и Te. Затем проводилось исследование материалов GeTe и Sb_2Te_3 . Результаты измерения температурных зависимостей электропроводности материалов GeTe и Sb_2Te_3 хорошо согласуются с литературными данными, как и по значениям температур плавления, так и по характеру изменения электропроводности. Далее была проведена дифференциальная сканирующая калориметрия и измерение температурной зависимости электропроводности для материала $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$. Оценена температура плавления для материала $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ при помощи метода ДСК и с использованием ПАК, которая равна $T_{\text{пл}} = 614^\circ\text{C}$ и $T_{\text{пл}} = 617^\circ\text{C}$ соответственно. Температурная зависимость электропроводности для материала $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ свидетельствует о том, что данный материал обладает полупроводниковыми свойствами.

Таким образом, проведены исследования процесса плавления и свойств расплава материала $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$.

Литература

1. **Соколов М. А.** Разработка ПАК для исследования электрофизических свойств расплавов материалов электронной техники // Труды IX школы-семинара «Диагностика наноматериалов и наноструктур» Том 2. 2017 г., Рязань. — с. 12–15.

А. О. Якубов, асп. ;
рук. А. А. Шерченков, д.т.н., проф. (НИУ «МИЭТ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТОНКИХ ПЛЕНОК Ge₂Sb₂Te₅, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ НАПЫЛЕНИЯ

Электрическая фазовая память (PCM), основанная на работе обратимых фазовых переходах «аморфное ↔ кристаллическое состояние», является перспективным видом памяти, которая способна заменить флэш-память. Однако PCM-устройства пока не перешли к масштабному производству. Связано это, в частности с не до конца отработанной технологией осаждения. В связи с этим, целью работы являлась исследование свойств тонких пленок Ge₂Sb₂Te₅, полученных методами вакуумно-термического испарения (ВТИ) и магнетронного распыления (МР).

Исследование состава методом Оже-спектроскопии, показало, что тонкие пленки Ge₂Sb₂Te₅ (GST225), полученные обоими методами напыления, обладают составом близким к составу исходного материала. Однако, в отличие от метода ВТИ, у пленок, получаемых МР, состав однороден по толщине. Рентгенофазовый анализ GST225, для обоих методов напыления, показал, что тонкие пленки, не прошедшие и прошедшие термообработку находятся в аморфном и кристаллическом состояниях соответственно.

Измерения температурных зависимостей удельного сопротивления выявили, что пленки GST225 в диапазоне температур от 30 до 130°C для обоих методов напыления находятся в аморфном состоянии. Энергии активации проводимости для пленок, полученных методами ВТИ и МР, отличаются и составляют 0,30 и 0,42 эВ соответственно. В диапазоне температур от 130 до 180°C происходит падение сопротивления, обусловленное фазовым переходом из аморфного состояния в кристаллическое. Анализ измерений выявил, что пленки GST225, полученные методом МР обладают более высокой воспроизводимостью.

Анализ температурных зависимостей вольт-амперных характеристик в аморфном состоянии выявил наличие 3 диапазонов с различной зависимостью тока от напряжения, что обусловлено разными механизмами переноса носителей заряда. Проанализированы механизмы переноса, установлено, что на первом участке наблюдается линейная зависимость. Энергия активации для данного участка составляют 0,31 и 0,42 эВ для ВТИ и МР соответственно, что коррелирует с данными, полученными при измерении температурных зависимостей удельного сопротивления.

Таким образом, были исследованы свойства пленок GST225, полученными методами ВТИ и МР. Выявлено, что метод МР позволяет получать пленки с высокой воспроизводимостью и с составом близким к GST225.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ (проект № 17-79-10465).

Йе Чжо Мин, асп; рук. М. А. Боев, д.т.н, проф. (НИУ«МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ РАСТЯГИВАЮЩЕГО УСИЛИЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ, ПРОКЛАДЫВАЕМЫЕ В ЗЕМЛЕ

При прокладке линий связи в тропическом климате используют оптические кабели (ОК) типа ОГЦ и ОГД. Эти кабели предназначены для прокладки в земле.

В данной работе исследованы ОК марок ОГЦ-32А-7 и ОГД-4*8А-7, изготавливаемые по ТУ 3587-001-58743450-2005, которые предназначены для прокладки в земле [1]. На рис. 1 приведены зависимости коэффициента затухания сигнала в

оптическом волокне (ОВ) кабеля от величины растягивающего усилия для кабелей марок ОГЦ-32А-7 и ОГД-4*8А-7. Кабели содержат по 32 ОВ и рассчитаны на максимальное статическое растягивающее усилие 7 кН, которое ОК должны выдерживать при температуре окружающей среды от минус 40 до 50°С.

Проведенные в данной работе исследования подтвердили нормированные значения механических параметров оптических кабелей марок ОГЦ-32А-7 и ОГД 4*8 А-7.

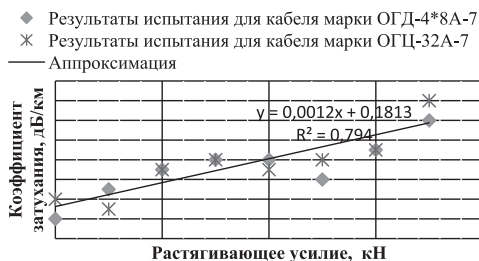


Рис. 1. Зависимость коэффициента затухания от растягивающего усилия для кабелей марок ОГЦ-32А-7 и ОГД-4*8А-7

Литература

1. Боев М. А., Йе Чжо Мин. Механические параметры оптического кабеля, предназначенного для прокладки в земле // 16-я Международная конференция «Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты МКЭЭЭ-2016 (ICSEE-2016)», 19–24 сентября, Крым, Алушта, 286. С. 74–75.

Е Наинг Лин, асп.; рук. М. А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СТОЙКОСТЬ ДРОП КАБЕЛЕЙ К ВОЗДЕЙСТВИЮ УДАРА

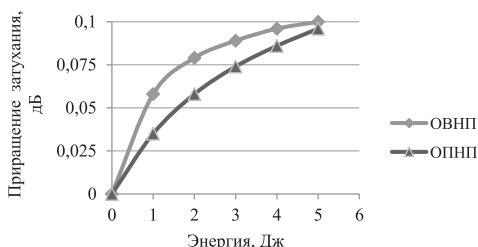


Рис. 1. Зависимость приращения затухания от энергии

В настоящее время разработаны специальные оптические кабели (ОК), предназначенные для обеспечения высокоскоростной передачи информации внутри объекта. Название типа кабелей происходит от английского «drop» — «бросить». В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований затухания мощности сигнала

в оптическом волокне и рассчитан прирост затухания в зависимости от величины механического воздействия: удара на исследуемые образцы кабелей марок ОВНП и ОПНП, предназначенных для систем связи «оптика до дома» (ОДД).

Испытания на стойкость к удару проводили по ГОСТ Р МЭК 794-1-93 (метод E4), при этом образец помещали на стальное основание, имеющее радиус закругления 100 мм, и закрепляли. Воздействие на образец производили грузом с плоским основанием, падающим с установленной высоты.

На ОК воздействовали ударами с различной энергией. Величину энергии, воздействующей на ОК, рассчитывали по формуле $E_p = mgh$, где E_p — энергия груза, падающего на образец, Дж; m — масса груза, кг, g — ускорение свободного падения, m/c^2 , h — высота, с которой падает груз, м.

Проведенные испытания (рис. 1) показали, что допустимая энергия удара для ОК марок ОВНП и ОПНП составляет 5 Дж.

*Е. А. Купцова, Н. В. Юткина, студ.;
рук. А. А. Сутченков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРАКТИКУМ ПО РАСЧЕТУ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ TCAD

Доклад посвящен практикуму по расчету полупроводниковых приборов с использованием TCAD. Разработке полупроводниковых приборов посвящен ряд курсов, читаемых бакалаврам и магистрам кафедры ФТЭМК НИУ МЭИ. Предлагаемый практикум знакомит и дает навыки работы с системой приборно-технологического моделирования TCAD Sentaurus [1, 2]. Система достаточно сложна с одной стороны, с другой студенты ограничены по времени при ее изучении. В связи с этим при построении практикума был принят принцип от простого к сложному. Рассматриваются базовые компоненты моделирования технологических процессов и расчета параметров приборов в TCAD. Изучение их проводится на достаточно простых примерах. Так на первых занятиях студенты моделируют диодную структуру с заданными геометрическими и электрофизическими параметрами. При этом осуществляется весь цикл проектирования — от создания фотошаблона до расчета выходных характеристик прибора. После детального изучения основных модулей TCAD на примере диода переходят к анализу других полупроводниковых приборов и элементов: полупроводникового резистора в интегральном исполнении, р-і-п диода, диода Шоттки, полевого транзистора Шоттки и, наконец, НЕМТ-транзистора. Каждый из студентов выполняет индивидуальный вариант задания по каждому из приборов, отличающийся параметрами технологического процесса и электрическими параметрами. С помощью модулей, подключаемых к оболочке Sentaurus Workbench, студенты исследуют влияние на выходные характеристики приборов геометрических размеров, электрофизических параметров и параметров технологического процесса.

Практикум дает преимущества при изучении курса Физика полупроводниковых приборов и интегральных схем. Студент предлагает технологический процесс для изготовления прибора, моделирует его в TCAD, рассчитывает характеристики приборов. При этом обеспечивается наглядная визуализация, как на стадии технологического проектирования, так и при расчете характеристик.

Литература

1. TCAD Sentaurus (www.synopsys.com). User Guide.
2. Глушко А. А. Приборно-технологическое моделирование в системе TCAD Sentaurus. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015.

Секция 23

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

Председатель секции — зав. каф. ЭКАОиЭТ, к.т.н., ст.н.сотр. М.Ю. Румянцев
Секретарь секции — к.т.н., доцент А.Н. Соломин

А. А. Евдокимова, студентка;
рук. С. Ю. Останин, доц., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОСНОВЕ БЕСКОНТАКТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ПРЕДКРЫЛКОВ И ЗАКРЫЛКОВ САМОЛЕТА

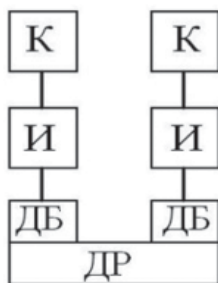


Рис. 1. Структурная схема электропривода перемещения предкрылков и закрылков

Механизация крыла имеет привод от механизмов повышенной надежности с двумя электрическими или гидравлическими двигателями. Замена гидравлической системы перемещения механизации крыла на электрическую позволит: значительно улучшить массогабаритные показатели системы, повысить эксплуатационную технологичность, снизить стоимость, увеличить надежность и межремонтный ресурс [1].

Электропривод перемещения предкрылков и закрылков выполнен на основе единой электромеханической системы, состоящей из управляющего устройства цифрового типа (К), управляемого инвертора (И), вентильного электродвигателя (ДБ) и дифференциального редуктора (ДР) (рис. 1).

Электродвигатель определяет параметры электропривода — точность регулирования, диапазон регулирования частоты вращения, перегрузочную способность, массоэнергетические и динамические показатели.

Цель работы состояла в проектном и поверочном электромагнитном расчете электродвигателя для электропривода и в исследовании основных режимов.

Новизна проведенных исследований заключается в уточнении методики электромагнитного расчета бесконтактных электродвигателей постоянного тока. Была скорректирована последовательность расчета и уточнены итерации на этапе проектного расчета.

Личный вклад автора состоял в обзоре существующих конструктивных реализаций электропривода предкрылков и закрылков и направлениях их совершенствования, систем управления ими, используемых в них магнитных материалов, в указанном выше уточнении методики, непосредственном выполнении проектного и поверочного расчета.

В результате был спроектирован бесконтактный электродвигатель постоянного тока с постоянными магнитами. Электродвигатель состоит из корпуса со статором, ротора с постоянными магнитами, электромагнитного тормоза и датчика положения ротора. Постоянные магниты выполнены на основе редкоземельных элементов КС37А. В качестве материала статора используется холоднокатанная изотропная сталь толщиной 0,18 мм.

Литература

1. Грузков С. А. Электрооборудование летательных аппаратов Т. 2. — М.: Изд-во МЭИ, 2008. — 552 с.

*Комлев И. В., аспирант;
рук. Г. С. Мыцык, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

СИСТЕМА ИНДИВИДУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ АЭРОДРОМНЫХ ОГНЕЙ

Развитие авиации и повышение популярности воздушного транспорта способствует расширению и усложнению аэродромов и аэропортов. В современных аэропортах насчитываются десятки рулежных дорожек и перекрестков. Это требует применения эффективных светосигнальных систем.

В настоящее время в качестве подсети электропитания для светосигнального оборудования используется сеть стабилизированного тока 6.6 А, 50 Гц, называемая кабельным кольцом (КК) [1]. Управление яркостью происходит через изменение действующего значения тока КК с помощью регулятора яркости (РЯ), поэтому управлять возможно только всеми огнями КК одновременно и для каждой группы нужно свое кольцо со своим РЯ. РЯ в таком случае используется не на полную возможную мощность. Другая важная проблема — это контроль неисправностей огней. Несмотря на то, что перегорание ламп не разрывает сеть КК, так как защитные трансформаторы тока входят в насыщение, происходит снижение КПД РЯ и ухудшается режим его работы.

Эти и другие проблемы может решить использование системы индивидуального управления и контроля огней. Такая система подразумевает наличие контроллера управления в каждом огне и информационного канала. Основная проблема разработки такой системы кроется в реализации информационного канала связи. Здесь возможны 3 варианта: выделенная линия, радиоканал и канал, совмещенный с силовой линией (PLC).

Анализ вариантов показал, что наиболее рациональным вариантом является вариант PLC связи. Отечественных аналогов такой системы на данный момент нет, и в рамках импортозамещения разработка такой системы особенно актуальна.

Для разработки устройства контроля и управления огней по силовой линии было проведено исследование влияния неоднородности волнового сопротивления линии КК на ВЧ сигнал, которое показало, что несущая частота для КК не должна превышать 2–3 кГц, с импульсной мощностью не менее 200 Вт. Сравнительный анализ возможных решений показал, что предложенная новая топология передатчика/преобразователя обладает наибольшей эффективностью при меньших габаритах и затратах.

Литература

1. **Фрид Ю. В.** Электросветосигнальное оборудование аэропортов // Транспорт, 1988. — 318 с.

*А. М. Лысенко, А. С. Оголь, К. С. Рослова студенты;
рук-ли М. П. Жохова, к.т.н., доц.; Т. А. Васьковская, к.т.н.
(НИУ «МЭИ»)*

МЕТОДЫ РАСЧЕТА АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ В ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЯХ

В настоящее время для расчета аварийных режимов в трехфазных цепях традиционно используется метод симметричных составляющих [1]. Современные программные средства позволяют использовать и другие методы, например, расчет методом узловых потенциалов в фазных координатах [2] и метод системных схем замещения [3]. Для конкретного варианта аварии важно выбрать наиболее эффективный метод расчета. Целью работы является анализ современных методов, применяемых в теории цепей для расчета аварийных режимов в трехфазных цепях: простота и наглядность метода, область его применения, затраты времени на подготовку задачи к расчету, общий объем времени, затрачиваемый на решение задачи. Проводится сравнение методов на примере расчета токов короткого замыкания (рис. 1).

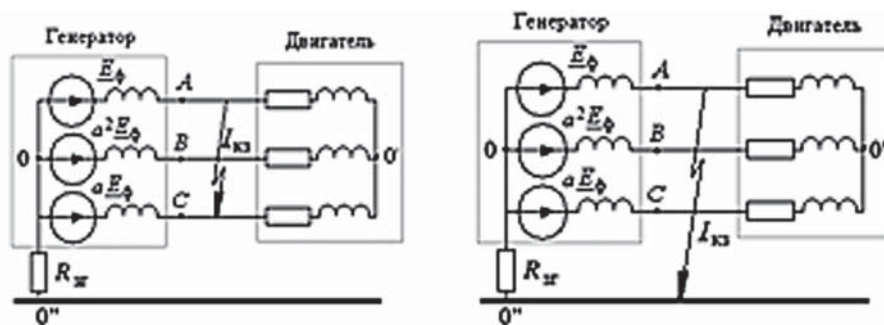


Рис. 1. Расчетные схемы

Для решения разработаны программные реализации метода системных схем замещения и метода узловых потенциалов в фазных координатах, апробированные для различных вариантов аварийных режимов.

Литература

1. Демирчян К. С., Нейман Л. Р., Н. В. Коровкин, В. А. Чечурин. Теоретические основы электротехники в 3-х томах. — СПб.: Питер, 2003.
2. Гусейнов А. М., Ибрагимов Ф. Ш. Расчет в фазных координатах несимметричных установившихся и переходных режимов в сложных электроэнергетических системах // Электричество. 2012. № 5.
3. Шакиров М. А. // Электротехника. 2003. № 10.

А. Е. Маслов, асп., рук. Г. С. Мыцык, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ПО НАПРЯЖЕНИЮ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР ПРИ ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ЧАСТОТЕ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА

На подвижных объектах системы электроснабжения с выходом постоянного или переменного тока строятся чаще всего на базе синхронных генераторов (СГ) различного исполнения, которые различаются между собой типом возбуждения, включая их контактность или бесконтактность. Одними из перспективных для таких применений являются СГ с возбуждением от постоянных магнитов (ПМ) — магнитоэлектрические генераторы (МЭГ), которые характеризуются наилучшим удельным показателем — $g_{ст}$ [кг/кВА]. При известных достоинствах МЭГ их недостатком является необходимость решения проблемы стабилизации его выходного напряжения при возмущающих воздействиях по частоте вращения вала и по нагрузке. Одним из применяемых на практике решений этой задачи является использование комбинированного возбуждения (КВ), при котором для регулирования напряжения используется дополнительный канал с электромагнитным возбуждением (ЭМВ). Поскольку у СГ с ЭМВ показатель $g_{ст}$ хуже, то очевидно, что и у СГ с КВ показатель $g_{ст}$ также будет хуже, чем у МЭГ. Несмотря на известные предложения по решению этой задачи, вопрос эффективного регулирования напряжения в МЭГ на сегодня нельзя считать до конца решенным. Он требует дальнейших поисковых исследований и сопоставительных оценок на предмет их конкурентоспособности. В докладе рассматривается несколько разработанных на кафедре ЭКАО и ЭТ альтернативных вариантов регулирования МЭГ как совместно с выпрямительным блоком (ВБ), так и без него. В первом варианте два силовых звена образуют электротехнический комплекс «Вентильный генератор» (ВГ). В качестве ВБ сегодня могут применяться активные выпрямители (обозначаемые также как малоискажающие выпрямители). Суть представленного в докладе первого исследуемого решения заключается во введении в цепь постоянного тока ВБ реверсивного вольтодобавочного канала (РВДК). Рассматриваются возникающие в этом случае проблемы. Приводятся результаты имитационного компьютерного моделирования. В варианте без ВБ (т. е. с выходом переменного тока с изменяемой частотой) МЭГ выполняется в двух вариантах: 1) с КВ и также с РВДК на роторе; и 2) статор МЭГ выполняется в виде основного канала и дополнительного РВДК. Свою функцию он выполняет путем поворота на соответствующий угол (в пределах полюсного деления) дополнительного статора относительно статора основного канала.

Мье Мин Тант, асп.; рук. Г. С. Мыцык, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЕНТИЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР НА БАЗЕ МАЛОИСКАЖАЮЩЕГО ТРЕХФАЗНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Вентильный генератор — это машинно-электронный генерирующий комплекс (МЭГС), состоящий из последовательно включенных электрической машины (ЭМ) и выпрямительного блока (ВБ). В последнее время он обозначается более обобщенным и адекватным термином как МЭГС-1. На практике МЭГС-1 используется как самостоятельно, так и совместно с инверторным блоком, превращаясь в систему ПСПЧ (переменная скорость — постоянная частота), которая обозначается в этом случае как МЭГС-2. Области применения этих систем: ветро- и гидроэнергетика и системы электроснабжения подвижных объектов. В последнее время развитие МЭГС-1 в различных ее применениях идет в направлении совершенствования как конструктивного исполнения ЭМ, так и схмотехнического исполнения ВБ [1]. В докладе приводятся результаты исследования одного из перспективных вариантов МЭГС-1, в котором ЭМ выполняется в виде синхронного генератора с возбуждением от постоянных магнитов (МЭГ), а ВБ — в виде малоискажающего трехфазного выпрямителя (МИТВ), который сегодня более обобщенно обозначается также и как 4-квadrантный преобразователь или как активный выпрямитель. МИТВ здесь выполняет следующие функции: 1) преобразование 3-фазного напряжения (при условии 2-кратного изменения его уровня и частоты) в стабилизированное постоянное напряжение — $U_{d0} = const$ с пониженным уровнем его пульсаций — $\Delta u(t)$; 2) потребления от МЭГ только активного тока (с $\cos\varphi_{1(i)}=1$) практически синусоидальной формы (с коэффициентом гармоник тока $K_{r(i)} \leq 5\%$). Задача исследования состояла в доказательстве возможности выполнения вышеуказанных функций при 2-х кратном изменении частоты вращения вала МЭГ. Методика исследования базировалась на использовании известных параметрических взаимосвязей в МИТВ-1. В качестве средства решения поставленной задачи использовалось имитационное компьютерное моделирование (ИКМ) в программной среде OrCAD Pspice Schematics. Результаты представлены в виде осциллограмм, таблиц и графиков и ориентированы на использование их в качестве информационно-методического обеспечения при системном проектировании такого рода электротехнических комплексов.

Литература

1. Калужский Д. П., Харитонов С. А. Синхронные машины с комбинированным возбуждением. Труды научно-технической конференции «Электрификация летательных аппаратов»: Сб. докладов. — М.: ИД Академии Жуковского, 2016. — С. 230÷239.

А. О. Мысак, студ., рук. А. Н. Соломин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)»

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ИНДУКТОРНОЙ МАШИНЫ

Основным элементом системы электроснабжения на мобильных объектах является генераторная установка. Наиболее распространенным типом генератора, применяемого в ее составе, стал синхронный генератор с когтеобразными полюсами. Вместе с тем, при значительной мощности потребителей на борту мобильного средства, в качестве конкурентоспособного варианта рассматриваются индукторные генераторы, среди достоинств которых можно выделить бесконтактность, простоту конструкции и возможность регулирования магнитного потока, что позволяет реализовать значительный диапазон частот вращения с постоянством напряжения.

В число основных требований, предъявляемых к электрооборудованию мобильных объектов, входят требования, ограничивающие массу, габаритные размеры генератора и минимальное значение КПД. В силу этого возрастает важность расчетных исследований, позволяющих выявить рациональные значения размеров магнитопровода, в наибольшей степени отвечающие предъявляемым требованиям.

Исследования проводились с помощью расчетной программы, разработанной на кафедре ЭКАО и ЭТ. Ее адекватность была подтверждена при разработке ряда вентильных генераторов различного назначения. Программа реализует математическую модель электромагнитных процессов, основанную на методе эквивалентных схем замещения электрической и магнитной цепи и методе мгновенных значений, и позволяет за приемлемое время провести многочисленные расчеты, свойственные задачам оптимизации [1].

В качестве объекта расчетных исследований был выбран вентильный индукторный генератор мощностью 6,5 кВт. Для номинального режима проведены исследования влияния основных геометрических данных и определены оптимальные размеры зубцовой зоны, особенно важные с учетом принципа действия индукторной машины — ширина зубцов статора и ротора, высота зубцов статора и ротора и др. Полученные результаты могут быть использованы для уточнения методики проектного расчета индукторного генератора.

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.

*Нгуен Хыу Нам, асп.; рук. В. Г. Еременко, д.т.н., проф.;
конс. А. В. Берилов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»).*

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ ПРИ РАБОТЕ ПАРАЛЛЕЛЬНО С СЕТЬЮ

В настоящее время все большее внимание уделяется использованию возобновляемых источников энергии. В ряде стран одним из приоритетных направлений в энергетике является развитие ветроэнергетических силовых установок (ВЭСУ). Одной из проблем ветроэнергетики является обеспечение стабильных параметров (частоты, действующего значения, формы) вырабатываемого напряжения при переменной скорости ветра и реализация возможности работы такого генератора параллельно с сетью [1].

Целью работы является создание информационно-методического обеспечения для системного проектирования ВЭСУ. В качестве средства решения поставленной задачи используется имитационное компьютерное моделирование в программном пакете Matlab/Simulink. Исследуется система генерирования электрической энергии на базе асинхронного генератора двойного питания, работающего параллельно с сетью. В рассматриваемом режиме работы важно с помощью ВЭСУ не только «разгрузить» сеть по активной мощности, но и обеспечить управление реактивной мощностью ВЭСУ. Под управлением реактивной мощностью в данном случае понимается возможность исключения ее потребления из сети, а также, при необходимости, возможность создания индуктивного или емкостного тока потребления из сети. Последнее бывает необходимо в условиях т.н. «слабой» сети, для поддержания параметров сетевого напряжения в рамках, определяемых стандартами [2].

Основным компонентом рассматриваемой системы генерирования с точки зрения управления является обратимый частотный преобразователь, состоящий из двух трехфазных мостовых транзисторных схем с накопительным конденсатором в цепи постоянного тока.

Литература

1. **Безруких П. П.** Ветроэнергетика (Справочное и методическое пособие). — ИД «Энергия», 2010.
2. **Хватов С. В., Титов В. Г., Поскобко А. А.** Асинхронно-вентильные нагружающие устройства. — М.: Энергоиздат, 1986.

*А. С. Оголь, К. С. Рослова, студенты; рук-ли М. П. Жохова, к. т. н., доц.;
Т. А. Васьковская, к. т. н. (НИУ «МЭИ», Москва)*

МАШИННЫЙ РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ

В настоящее время актуальной остается задача расчета трехфазных цепей в различных режимах. Для решения этой задачи авторами предлагается формирование уравнений трехфазной цепи непосредственно в фазных координатах [1]. Целью работы является машинная реализация этого подхода, основанная на применении топологического списка (Т-списка) и метода поэлементного вклада, позволяющего внести в узловые уравнения каждую ветвь независимо [2, 3].

Использование Т-списка позволяет легко менять параметры элементов, учитывать изменение топологии, добавляя или вычеркивая строку Т-списка. Пример схемы и соответствующего ей графа представлены на Рис. 1. Также рассматривается новый подход к решению поставленной задачи: приведение трехфазных цепей к эквивалентным пассивным и активным многополюсникам и определение их параметров с помощью вычислительного эксперимента.

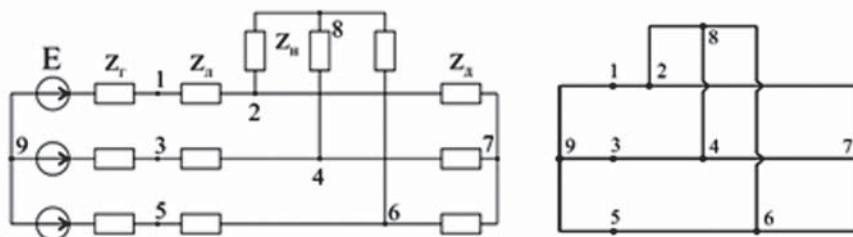


Рис. 1. Схема и граф трехфазной цепи

Литература

1. **Chen T. H., Chen M. S.** Three-phase cogenerator and transformer models for distribution system analysis // IEEE Transactions on Power Delivery. 1991. Vol. 6, No. 4.
2. **Демирчян К. С., Бутырин П. А.** Моделирование и машинный расчет электрических цепей. — М., 1988.
3. **Гусейнов А. М., Ибрагимов Ф. Ш.** Расчет в фазных координатах несимметричных установившихся и переходных режимов в сложных электроэнергетических системах // Электричество. 2012. № 5.

Е. Н. Павкин, асп.; рук. С. Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ГИСТЕРЕЗИСНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Исследования, рассматриваемые в докладе, выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) по проектам 15-08-99600-а, 16-08-01101-а, 16-58-53123 ГФЕН-а.

Актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена тем, что проектирование и исследование гистерезисных электроприводов [1] с применением только полевых моделей гистерезисного электродвигателя сложно и трудоемко. Это вызвано, в первую очередь, сложностью принципиально необходимого учета всех магнитных состояний магнитной системы ротора, начиная с первоначального намагничивания ротора при пуске. Соответственно необходимо учитывать и все подрежимы работы электродвигателя, начиная с пускового режима, когда ротор еще не вращается. В связи с этим для исследования проявлений высших временных и пространственных гармоник магнитного поля в электродвигателе, режимов управления им важно использовать цепные модели гистерезисного электропривода.

Новизна проведенных исследований заключается в следующем:

- сформирована цепная модель гистерезисного электродвигателя и электропривода, для которой сняты ограничения по характеру и количеству учитываемых высших гармоник электромагнитного поля;
- формализовано совместное применение цепных и полевых моделей;
- разработан алгоритм учета всех подрежимов работы гистерезисного электродвигателя, начиная с пускового режима при неподвижном роторе.

Личный вклад автора состоит в следующем:

- обобщение и анализ результатов экспериментальных исследований вариантов гистерезисных электроприводов в режимах управления;
- совершенствование цепной модели гистерезисного электродвигателя и электропривода, строгий учет режимов управления ими;
- расчетные исследования электромагнитных процессов при управлении гистерезисными электродвигателями в составе электропривода.

Перспективы использования полученных результатов обусловлены необходимостью проектирования и исследования гистерезисных электроприводов с учетом свойств хромокобальтовых сплавов роторов электродвигателей и режимов управления, в том числе импульсного управления.

Литература

1. Орлов И. Н., Никаноров В. Б., Селезнев А. П., Шмелева Г. А. Проектирование гистерезисных двигателей на ЭВМ. — М.: МЭИ. 1991. 128 с.

А. И. Бакшутлов, студ., И. С. Пивсаев, студ.;
рук. В. А. Данилушкин, к. т. н., доц. (СамГТУ, Самара)

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

Рассмотрены вопросы моделирования процесса воздушного охлаждения газа как объекта управления и особенности синтеза системы автоматической стабилизации температуры газа.

Важнейшим узлом газоперекачивающего агрегата является система воздушного охлаждения газа, которая обеспечивает работу компрессора и приводного электродвигателя в широком диапазоне изменения режимных параметров и возмущающих воздействий. Для решения задач синтеза высококачественной системы автоматической стабилизации температуры необходимо иметь математическую модель, адекватно отражающую поведение объекта при наличии различных возмущений. Рассматриваемая в работе математическая модель ориентирована на разработку системы автоматической стабилизации температуры газа на выходе из теплообменника, основное назначение которой — компенсация малых отклонений температуры. Это обстоятельство позволяет рассматривать процессы охлаждения в малом, что дает возможность использовать линеаризованную модель объекта, теплофизические характеристики которого не зависят от температуры. Высокие скорости потока газа обуславливают турбулентный характер течения, а незначительная толщина стенки и высокая теплопроводность материала трубки позволяет пренебречь постоянной времени трубки и рассматривать процесс теплообмена между потоком воздуха и потоком газа, характеризуя интенсивность теплообмена некоторым приведенным коэффициентом теплопередачи от газа к воздуху. Реализация управляющего воздействия осуществляется изменением объемного расхода воздуха через теплообменник. Проведены экспериментальные исследования динамических и статических характеристик объекта управления в широком диапазоне изменения частоты вращения вентилятора, на основании которых определены реальные передаточные функции объекта с учетом их энергетической эффективности и выявлены зависимости коэффициентов передачи и постоянных времени от варьируемых параметров. Разработаны математическая и структурная модели процесса теплообмена в установке охлаждения газа, ориентированная на решение задач автоматической стабилизации режимов работы установки охлаждения. Полученные модели учитывают изменение температуры охлаждающего воздуха и температуры газа на входе в теплообменник.

А. В. Плаксин, студ.;
рук. А. И. Тихонов, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

АВТОМАТИЧЕСКОЕ СНЯТИЕ ПЕТЛИ ГИСТЕРЕЗИСА

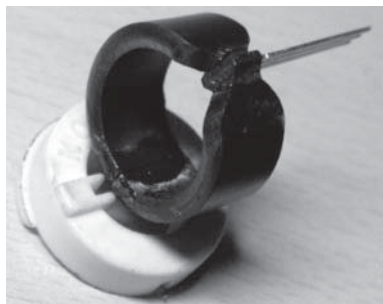


Рис. 1. Экспериментальный образец

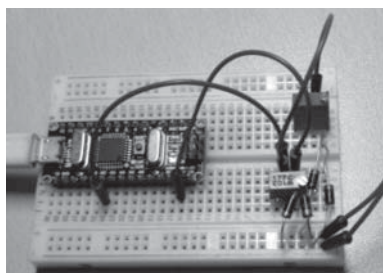


Рис. 2. Экспериментальная установка

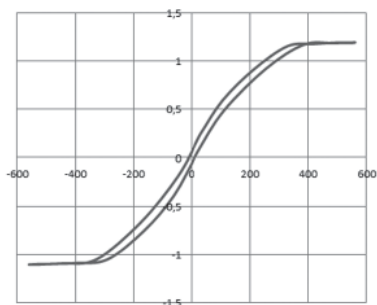


Рис. 3. Петля гистерезиса феррита

Зачастую в электромеханике требуется знать кривую намагничивания материала для дальнейшего ее использования. Обычно петлю гистерезиса снимают вручную, что занимает продолжительное время. Снятие петли гистерезиса в автоматическом режиме многократно ускоряет процесс, позволяет протестировать материал на разных частотах, как на предельной кривой намагничивания, так и на частных кривых.

Для автоматического снятия петли гистерезиса было принято решение использовать инструмент для проектирования электронных устройств на базе платформы Arduino. Эксперимент проводился с использованием ферритового кольца, с боку которого был сделан пропил, в который и установлен датчик Холла. Так же на кольцо была намотана обмотка (рис. 1).

Эксперимент проводился при синусоидальном напряжении сети, пониженном с помощью трансформатора до 12В. Максимальный ток достигал 1,5А. В момент прохождения синусоиды тока через ноль, система фиксировала значения тока и напряжения, спустя период останавливала считывание показаний, переводила их в зависимость индукции от напряженности магнитного поля и передавала на компьютер в среду Excel, через которую и происходило управление экспериментом. Экспериментальная установка показана на рис. 2, результаты эксперимента — на рис. 3.

В. А. Телегин, асп.; рук. С. Ю. Останин, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ БЛОКОВ ГИРОСКОПОВ

Исследования, рассматриваемые в докладе, выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) по проектам 15-08-99600-а, 16-08-01101-а.

Гистерезисный электропривод [1] является основным для гироскопов с механическим носителем кинетического момента и электрическим приводом: гироскопов с поплавковым подвесом ротора, динамически настраиваемых и др. [2]. Такие гироскопы широко используются в приборах и системах ориентации, стабилизации, навигации и управления движением летательных аппаратов, в частности, искусственных спутников. В условиях совершенствования гироскопов, основанных на иных физических принципах: микромеханических, волоконно-оптических и других — прогнозируется, что электромеханические гироскопы, наряду с ними, будут также успешно применяться в длительной перспективе [2].

Новизна проведенных исследований подтверждается материалами работ ведущих профильных организаций, в частности, *Филиала ФГУП «ЦЭНКИ» «Научно-исследовательский институт прикладной механики им. академика В. И. Кузнецова»*. В нем выполнена работа, которая рассматриваются в докладе. Личный вклад автора состоит в следующем:

- анализ и обобщение данных испытаний гистерезисных прецизионных микроэлектродвигателей базовых конструктивных схем реализации;
- формирование математической модели управляемого гистерезисного электропривода прецизионной мехатронной системы;
- разработка малогабаритного гистерезисного электродвигателя для электропривода гироскопа системы управления спутником.

Перспективы использования полученных результатов обусловлены направлениями исследований ведущих профильных организаций, а также интенсивным межотраслевым переносом электромеханических гироскопических технологий, происходящим в рамках создания продукции двойного назначения. В соответствие с ним гистерезисные электроприводы, аналогичные по структуре гироскопическим приводам, успешно применяются в атомной, химической, текстильной и смежных с ними отраслях.

Литература

1. **Орлов И. Н., Никаноров В. Б., Селезнев А. П., Шмелева 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.

Тин Аунг Зо, асп., рук. Г. С. Мыцык, д.т.н., профессор (НИУ МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ КЛЮЧАМИ ТРЕХФАЗНОГО ИНВЕРТОРА МНОГОКАНАЛЬНОГО ТИПА

При инвертировании постоянного напряжения в трехфазное переменное напряжение сегодня используют два способа формирования преобразованного напряжения: широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) по синусоидальному, трапецидальному или квазитрапецидальному закону и многоканальное преобразование (МКП) энергетического потока (ЭП). Первый способ — алгоритмический. Уменьшение искажений ЭП здесь достигается увеличением тактовой частоты ШИМ — f_r . Однако, ее увеличение имеет свои разумные пределы. Второй способ — структурно-алгоритмический. Здесь эта задача решается одновременно структурным и алгоритмическим путем: увеличением числа L преобразующих каналов до требуемого значения, последовательным фазовым сдвигом алгоритмов переключения ключей каналов на соответствующий угол и последовательным или параллельным суммированием частей ЭП в выходной цепи. Увеличение числа каналов, при неизменной частоте f_r , сопровождается уменьшением искажений результирующего ЭП. Поэтому здесь появляется возможность ее понижения до определенного уровня. В целом, использование МКП при заданном качестве ЭП обеспечивает снижение потерь на его преобразование. Предельно возможное снижение частоты f_r через выходную частоту инвертора f_2 можно определить соотношением $\xi_{min} = f_r/f_2 = 5$. На инверторы возлагается не только функция формирования результирующего ЭП с заданными допустимыми его искажениями, но также и функция регулирования его по уровню. При использовании ШИМ эта задача решается путем изменения глубины модуляции μ . В докладе показывается, что имеются средства дальнейшего улучшения качества преобразованного ЭП за счет снижения как динамических потерь в ключах, так и уровня его квантования — $\Delta U_{кв}$, что важно для увеличения срока службы изоляции обмоток электрических машин. Задача решается путем использования вместо алгоритма многофазной ШИМ простейшего энергосберегающего алгоритма регулирования — ЭСАР напряжения в каждом канале ТИН совместно со способом вектор-веерного формирования — ВВФ L частей ЭП. Способ ВВФ представляет собой разновидность более общего способа МКП. Суть ЭСАР заключается во введении угла регулирования ЭП — α в зоне $2\pi/3 \div \pi/3$ интервала проводимости $0 \div \pi$ каждого ключа стойки ТИН, причем увеличение угла α производится в направлении, обратном отсчету времени. Приводятся результаты оценки вариантов, полученные на основе имитационного компьютерного моделирования.

М. И. Юрьев, студ.; рук. С. Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА И ГИСТЕРЕЗИСНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Исследования, рассматриваемые в докладе, выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) по проектам 15-08-99600-а, 16-08-01101-а, 16-58-53123 ГФЕН-а.

Актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена тем, что в автономных системах широко применяются электроприводы, электропитание которых обеспечивается источниками вторичного электропитания, преобразующими энергию, поступающую от магнитоэлектрического генератора [1]. Для электропривода механизмов, маховиков, обладающих большими моментами инерции, эффективны гистерезисные электродвигатели.

Новизна проведенных исследований подтверждается материалами исследовательских и проектных работ ведущих профильных организаций, в частности, Корпорации «ВНИИЭМ», АО «НИИЭМ» и ряда других.

Личный вклад автора состоит в следующем:

- обзор и анализ литературных источников по тематике исследования, проектно-конструкторских решений в области систем электроснабжения и электропривода механизмов и агрегатов автономных объектов;
- разработка алгоритмов расчета магнитоэлектрического генератора и гистерезисного электродвигателя и их реализация в виде объектно-ориентированных программ на высокоуровневом языке программирования общего назначения, ориентированном на повышение производительности разработчика и читаемости кода Python (версия 3.6);
- проектирование и расчетный анализ электрического генератора с возбуждением от постоянных магнитов, в качестве материала которых выбран Неодим-Железо-Бор в соответствии с ГОСТ Р 52956-2008;
- проектирование и расчетный анализ гистерезисного электродвигателя с ротором на основе прецизионного хромокобальтового сплава.

Перспективы использования результатов обусловлены направлениями перспективных исследовательских и проектных работ ведущих в данной области предприятий: Корпорации «ВНИИЭМ», АО «НИИЭМ» и др.

Литература

1. **Авербух В. Я., Вейнберг Д. М., Верещагин В. П., Мирошник О. М., Михайлов Е. М., Ремизов В. Е., Стома С. А., Шереметьевский Н. Н.** Электромеханические устройства космических аппаратов и ракет-носителей // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ / Издательство: Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» им. А. Г. Иосифьяна (Москва). Том: 100. Год: 2001. С. 89–96.

М. С. Зубарев, асп.; рук. С. Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ РАСЧЕТОВ И ИССЛЕДОВАНИЙ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ КОНУСНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

Исследования, рассматриваемые в докладе, выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) по проектам 15-08-99600-а, 16-08-01101-а, 16-58-53123 ГФЕН-а.

Гистерезисный электропривод [1] с электродвигателями конусного исполнения перспективен при реализации прецизионных технологических и производственных систем химической, текстильной, пищевой и смежных с ними областей техники и отраслей промышленности. К таким системам, в частности, относятся высокотехнологичные электромехатронные системы — мотор-подшипники, объединяющие в своих конструкциях электропривод, газодинамическую опору и рабочую среду — раствор или расплав, необходимый для технологических или производственных процессов [2].

Новизна проведенных исследований основана на данных обзора и анализа проектно-конструкторских решений в области технологических и производственных машин и агрегатов рассматриваемых классов, подтвердивших основные тенденции развития электропривода механизмов из [2].

Личный вклад автора состоит в следующем:

- обзор и анализ проектно-конструкторских решений в области электроприводов технологических и производственных машин и агрегатов;
- анализ и обобщение экспериментально полученной информации о распределении индукции магнитного поля в роторах гистерезисных электродвигателей конусного исполнения в радиальном направлении;
- разработка методологии расчетов и исследований процессов в гистерезисных электроприводах с электродвигателями конусного исполнения.

Перспективы использования полученных результатов обусловлены реальностью их дальнейшей производственной и коммерческой реализации. Эффективность гистерезисного электропривода с электродвигателем конусного исполнения подтверждена при практическом применении для ряда технологических и производственных машин и агрегатов химической и текстильной промышленности. Электропривод легко встраивается в современные машины и перспективен при создании машин новых поколений для химической, текстильной и смежных с ними отраслей.

Литература

1. Орлов И. Н., Никаноров В. Б., Селезнев А. П., Шмелева Г. А. Проектирование гистерезисных двигателей на ЭВМ. — М.: МЭИ. 1991. 128 с.
2. Динамика мотор-подшипников / А. Г. Шнайдер, И. К. Пчелин. — Москва: Наука, 2007. — 276 с.

*М. И. Савинова, студент;
рук. М. С. Сайкин, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТИЧЕСКОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЙ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ГЕРМЕТИЗАТОРА ВАКУУМНОЙ ЛАЗЕРНОЙ УСТАНОВКИ ЛУ-1А

В работе проведено численное исследование распределения магнитной индукции в рабочем зазоре радиального и торцевого магнитожидкостного герметизатора (МЖГ), которые применяются в вакуумном технологическом оборудовании [1]. Для проведения исследований использовался пакет FEMM. В качестве объекта исследований рассматривались МЖГ электротехнологического комплекса лазерной установки ЛУ-1А.

Исходные данные для расчёта: диаметр вала $d=20$ мм, величина рабочего зазора $\delta=0,1$ мм, шаг зубца $b=3$ мм, величина площадки и угол при основании зубца $t=0,3$ мм и $\alpha=45^\circ$. Скорость вращения вала 400 об/мин. Магнитопровод герметизатора изготовлен из стали 10 с индукцией насыщения $B_s=2,1$ Тл при напряжённости магнитного поля $H_c=50$ кА/м. Источником постоянного магнитного поля являлись магниты, из сплава неодим-железо-бор в форме пластин $15 \times 10 \times 5$ в количестве 6 штук.

В ходе расчётов МЖГ величины остаточной магнитной индукции и коэрцитивной силы по индукции изменялись в диапазоне $B_r=0,6-1,22$ Тл и $H_{cb}=400-800$ кА/м. Герметизатор должен обеспечить работу оборудования в вакууме 10–4 мм рт. ст.

Критерием сравнения МЖГ являлась величина критического перепада давлений ΔP при соблюдении равенства площадей зубцовых областей в радиальном и торцевом герметизаторах:

$$\Delta P = N \cdot M_{so} \cdot (B_{max} - B_{min}),$$

где N — количество зубцов в полюсной приставке, M_{so} — намагничённость магнитной жидкости, B_{max} — максимальная индукция под зубцом, B_{min} — минимальная индукция под зубцом.

Анализ результатов расчёта показал, что величина критического перепада давлений радиальных МЖГ выше, чем торцевых на 15–20%, что объясняется более высоким значением потока рассеяния в торцевых герметизаторах. Таким образом, применение радиальных конструкций герметизаторов для герметизации вала вакуумной лазерной установки ЛУ-1 является более предпочтительной.

Литература

1. Сайкин М. С. Магнитожидкостные герметизаторы технологического оборудования: Монография. — СПб.: Издательство «Лань», 2017. — 136 с.

Секция 24

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Председатель секции — д.т.н., профессор П.А. Курбатов

Секретарь секции — Е.С. Наместникова

И. С. Басов, студ.; рук. О. Н. Молоканов, асс. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАНЕТАРНОГО МАГНИТНОГО РЕДУКТОРА

В настоящее время развитие магнитных передач и редукторов является перспективным направлением в современной электротехнике. За последние годы было разработано различное множество видов и типов магнитных передач [1].

Одной из наиболее эффективных топологий является циклоидная магнитная передача. Она характеризуется высоким передаточным отношением и большой объемной плотностью крутящего момента [2]. Однако при конструировании данной передачи возникают существенные технические сложности, связанные со снятием крутящего момента внутреннего ротора, а также его балансировки. Данная проблема связана со сложным движением внутреннего ротора, возникающего за счет его смещения относительно оси статора.

Альтернативным способом решения вышеописанной проблемы является применение конструкции двухступенчатого планетарного магнитного редуктора. Применение промежуточного ротора, движущегося по циклоидной траектории, позволяет избавиться от сложности в снятии выходного момента с внутреннего ротора. Многоступенчатость редуктора реализуется за счет внутреннего зацепления его статора и роторов, что позволяет более эффективно использовать постоянные магниты, а также уменьшить осевые размеры устройства. При этом также достигаются относительно высокое передаточное отношение и большие значения удельных моментных показателей.

При выполнении первичного моделирования была получена плотность момента более $100 \text{ кН}\cdot\text{м}/\text{м}^3$.

Исследование заключается в построении компьютерных моделей планетарного магнитного редуктора. Проводится оптимизация параметров и изменение технических особенностей устройства с целью достижения более высоких характеристик.

Литература

1. Li X., Chau K.-T., Cheng M., and Hua W. Comparison of magnetic-gear permanent-magnet machines, *Progress in Electromagnetics Research*. — 2013. Vol. 13. — P. 177–198.
2. Jorgensen F. T., Andersen T. O., and Rasmussen P. O. The cycloid permanent magnetic gear, *IEEE Transactions on Industry Applications*. — 2008. Vol. 44. № 6. — P. 1659–1665.

Ю. С. Думчева, студ.; рук. О. Н. Молоканов, асс. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА

Трансформатор тока имеет следующие основные назначения:

- изолирование обслуживающего персонала и приборы от потенциала сети, в которой производятся измерения;
- производить измерение или учет любых токов стандартными приборами. [1]

В работе были изучены конструкции измерительных трансформаторов тока, которые классифицируются в зависимости от сердечника (бывают стержневые, броневые и тороидальные) и в соответствии с конструкцией первичной обмотки (разделяются на одновитковые или многовитковые).

В программном комплекте COMSOL Multiphysics была разработана 3D модель прототипа измерительного трансформатора тока. Для создания модели использовались уравнения Максвелла и закон Ома. Проведено моделирование при номинальном токе и токе, превышающий номинальный в несколько раз (рис. 1). При значении приведенного первичного тока больше номинального наблюдается «срыв» тока. Происходит это потому, что магнитопровод насыщается.

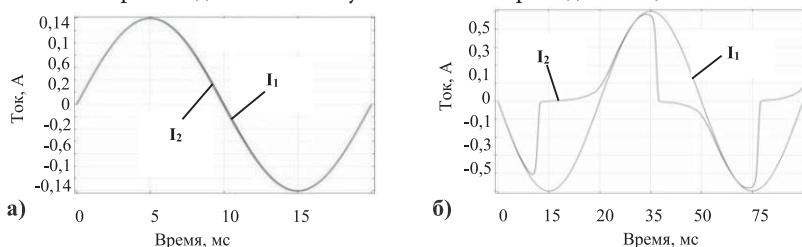


Рис. 1. Зависимость приведенного первичного I_1 и вторичного I_2 тока от времени: а) $I_1 = 140$; б) $I_1 = 500$ А

В данной работе был проведён расчёт угловых и токовых погрешностей, которые зависят от первичного тока. Результаты расчетов приведены на рис. 2.

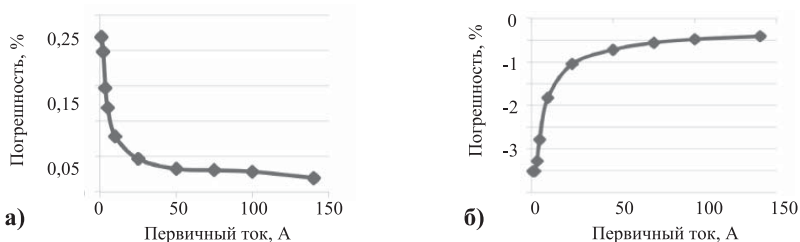


Рис. 2. Зависимость погрешностей от измеряемого тока: а) угловая; б) токовая

Литература

- В. В. Афанасьев, Н. М. Адоньев и др. Трансформаторы тока. Л.: Ленингр., 1989.

Е. М. Дунаева, студ.; рук. П. В. Мурзакаев, асс. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИЙ ВОЗДУШНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Воздушные автоматические выключатели от 630 до 6300А, которые устанавливаются на вводе главного распределительного щита (ГРЩ), — это наиболее важная часть сети низкого напряжения. Ложные срабатывания вводного выключателя приводят к отключению большого числа потребителей, поэтому одним из важных требований аппарата этого уровня является обеспечение бесперебойного электропитания. Так как существуют потребители, для которых даже очень короткие пропадания питания могут создавать опасность для человеческой жизни (например, больницы, аэропорты). Перебои в работе серверов банков, ЦОДов, телевидения и радиовещания, сотовых операторов могут приводить к масштабным экономическим и финансовым последствиям. [1]

В настоящей работе рассмотрен силовоточный (от 630 до 6300А) воздушный автоматический выключатель компании Schneider Electric Masterpact MTZ. Произведен сравнительный анализ, автоматического выключателя нового поколения Masterpact MTZ с аппаратом предыдущей серии Masterpact NT/NW. Сравнение Masterpact MTZ с автоматическими выключателями других производителей: Emax (ABB) и OptiMat A (КЭАЗ). В качестве критериев сравнения были выбраны: основные характеристики автоматических выключателей, функции их микропроцессорных блоков управления, вспомогательное оборудование и аксессуары. [2], [3], [4], [5].

В рамках практической части была проведена работа с блоком контроля и управления Micrologic 5.0.X воздушного автоматического выключателя Masterpact MTZ. Работу с Micrologic 5.0.X можно осуществлять через мобильное приложение с помощью Bluetooth и NFC связи, а также через ПО Ecoreach.

Литература

1. «Координация защит низкого напряжения» Руководство № 5. Schneider Electric
2. Каталог «Masterpact MTZ. Силовые автоматические выключатели и выключатели-разъединители». Schneider Electric. 2017 г.
3. Каталог Schneider Electric «Masterpact NT и NW. Автоматические выключатели и выключатели нагрузки». 2014 г.
4. Каталог «Emax. Низковольтные автоматические выключатели на номинальный ток от 800–6300А.» ABB.
5. Каталог «OptiMat A. Воздушные автоматические выключатели». КЭАЗ.

О. Г. Евдокимова, студ.; рук. М. Г. Лепанов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Регулирование (компенсация) реактивной мощности необходимо для поддержания уровней напряжения в электрических сетях, повышения пропускной способности линий электропередач и обеспечения устойчивости электроэнергетических систем [1].

Среди статических средств компенсации реактивной мощности наиболее широко применяются статические тиристорные компенсаторы (СТК) и компенсирующие устройства на базе преобразователей напряжения (СТАТКОМ), выполненных на основе полностью управляемых полупроводниковых ключей, например, *IGBT*-транзисторов.

В СТК каждая из фаз включает дроссель и два тиристорных ключа. Регулирование тока (реактивной мощности) происходит за счет изменения угла управления тиристоров. Принцип работы СТАТКОМ заключается в формировании требуемого значения тока дросселей, включенных между транзисторным преобразователем и сетью, посредством широтно импульсной модуляции напряжения преобразователя.

В программе MatLab/Simulink были разработаны имитационные модели устройств и реализованы соответствующие алгоритмы управления. В результате исследования схем компенсации реактивной мощности можно сделать следующие выводы:

- как у СТАТКОМ, так и у СТК время регулирования реактивной мощности составляет несколько периодов;
- в СТК с ростом угла управления тиристоров увеличивается коэффициент гармонических искажений (ТНД) тока, что является неблагоприятным фактором; СТАТКОМ за счет высокочастотного импульсного управления практически не искажает ток ($\text{ТНД} < 5\%$);
- СТАТКОМ, в отличие от СТК, осуществляет регулирование реактивной мощности как индуктивного, так и емкостного характера;
- СТАТКОМ помимо компенсации реактивной мощности может выполнять одновременно дополнительные функции повышения качества электроэнергии:
 - фильтрацию наиболее значимых гармоник тока сети в случае нелинейной нагрузки (режим активного фильтра);
 - симметрирование токов сети при несбалансированной нагрузке.

Литература

1. Гусев С. И. Развитие устройств FACTS. [Электронный ресурс]. — Гусев С. И., Шакарян Ю. Г., Новиков Н. Л. — 21.07.2012 — Режим доступа: http://www.ruscable.ru/article/Razvitie_ustrojstv_FACTS.

*Д. И. Гаврилов, студ.;
рук. А. Ю. Марченков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДОСТИ И ПРОЧНОСТИ КОРРОЗИОННО-СТОЙКОГО СПЛАВА HASTELLOY G-35 ИНДЕНТИРОВАНИЕМ

Методы индентирования находят все большее распространение в диагностике механических свойств материалов непосредственно в деталях и конструкциях. Применение индентирования на этапах изготовления и эксплуатации конструкций позволяет существенно снизить трудоемкость и повысить производительность операции контроля механических свойств, что, в свою очередь, позволяет уменьшить затраты на изготовление деталей и эксплуатационные расходы. Эффективность использования метода индентирования подтверждается государственными стандартами ГОСТ 22761-77 «Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю переносными твердомерами статического действия» и ГОСТ 22762-77 «Металлы и сплавы. Метод измерения твердости на пределе текучести вдавливанием шара», которые позволяют определять такие важные механические характеристики материалов как твердость по Бринеллю, предел текучести и временное сопротивление без разрушения конструкции и вырезки образцов для испытания растяжением [1]. Для сплавов на основе никеля в настоящий момент не существует нормативных документов, регламентирующих определение указанных выше характеристик прочности методом индентирования.

Работа посвящена разработке методики определения характеристик твердости и прочности хастеллоя (коррозионно-стойкого сплава на основе никеля) марки G-35 методом вдавливания индентора. Указанный материал применяется в промышленности для изготовления деталей и конструкций, контактирующих с агрессивными кислотами и солями при повышенных температурах. Хастеллой G-35 обладает большим запасом пластичности, что требует проведения исследований для установления условий корректного определения его характеристик твердости и прочности. Личный вклад автора заключается в выполнении экспериментальных исследований, обработке полученных данных и проведении практического опробования разработанного метода. Такой метод может быть использован для металла действующего оборудования и трубопроводов, изготовленных из хастеллоя G-35, в особенности на тех участках металла, где затруднено или невозможно использование метода испытаний растяжением (галтели, сварные швы, гибы трубопроводов, локальные зоны концентрации напряжений, выявленные методами дефектоскопии и др.).

Литература

1. **Матюнин В. М.** Индентирование в диагностике механических свойств материалов. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 288 с.

Ю. М. Лапин, студ.; рук. К. В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РЕГУЛЯТОР ПОТОКОВ МОЩНОСТИ НА БАЗЕ УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Волновая электроустановка — это электромеханическая система, преобразующая механическую энергию движения волн в электрическую энергию. В работе рассматривается волновая электроустановка, в состав которой входит линейный генератор [1]. Однако для корректной работы такой системы требуется ее согласование с сетью переменного тока [2].

В работе был рассмотрен регулятор на основе полностью управляемого выпрямителя, который предполагается ставить на выходе волновой электроустановки (рис. 1) с целью оптимизации отбора мощности. В программном комплексе Matlab была разработана компьютерная модель регулятора, и в ходе моделирования была определена оптимальная структура системы управления. Также была разработана микропроцессорная система управления регулятором и подобраны радиоэлектронные компоненты, необходимые для реализации регулятора.

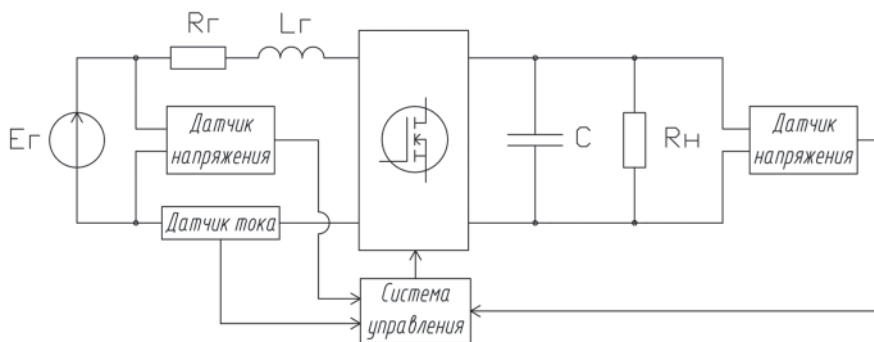


Рис. 1. Упрощенная схема регулятора

Литература

1. **Drew, B.; Plummer A. R., Sahinkaya M. N.** A review of wave energy converter technology // Power and Energy Magazine, University of Bath, UK, vol.223, pp. 887–902, June 2009.
2. **Czech, B.; Bauer, P.** Wave Energy Converter Concepts: Design Challenges and Classification // Industrial Electronics Magazine, IEEE, vol. 6, no. 2, pp. 4–16, June 2012.

Л. А. Мареев, студ.;
рук. Н. А. Ведешенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ С ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИМ ЭФФЕКТОМ

Аварийный режим работы электросети характеризуется параметрами, выходящими за пределы требований технических регламентов. Возникновение и длительное существование этого режима представляет недопустимую угрозу для жизни людей, а так же повреждение электрооборудования. Наиболее опасным аварийным режимом является режим трехфазного короткого замыкания (КЗ) на выводах выключателя. В случае мощных электрических цепей токи КЗ в таком режиме достигают недопустимо больших величин [1]. В таких цепях с помощью ряда современных технических решений минимизированы последствия аварийного режима. Одним из таких решений является автоматический выключатель токоограничивающего исполнения.

Считается, что устройство является токоограничивающим, если амплитуда тока, протекающего через него в процессе КЗ, существенно меньше той, которая ожидается при его отсутствии [2].

Токоограничивающий эффект требуется для производства более эффективных автоматических выключателей, как с экономической, так и с технической точки зрения, и уменьшения воздействий аварийных токов: электромагнитное, механическое, термическое.

В работе делается попытка анализа различных факторов, влияющих на токоограничение, таких как: собственное магнитное поле токоведущего контура, время срабатывания магнитного расцепителя и механизма свободного расцепления, контактные материалы, условия вхождение дуги в дугогасительную камеру; для получения оптимального решения проблемы токоограничения.

Произведена оценка эффективности применения токоограничивающего эффекта различных автоматических выключателей токоограничивающего исполнения разных производителей. Проанализированы достоинства, недостатки и трудности комплексного решения токоограничения.

Литература

1. **Байда Е.И.** Моделирование процессов отключения токов короткого замыкания автоматическими выключателями токоограничивающего исполнения // *Электротехника и электромеханика*. 2007.
2. **Schuessler P.** LV breaking by current limitation. Schneider Electric Cahier technique no. 163

*Е. С. Наместникова, студ.;
рук. К. В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РЕГУЛЯТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ СИСТЕМЫ С ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

В настоящее время для получения электрической энергии человечество в большей степени использует углеводородное и ядерное топливо, однако эти виды топлива являются невозобновляемыми ресурсами, а также их использование и отходы загрязняют окружающую среду. В связи с этим люди стараются все больше внедрить альтернативные источники энергии. Самым популярным таким источником является солнечная энергия, которая преобразуется в электрическую с помощью фотоэлектрических преобразователей (ФЭП).

Тем не менее вырабатываемая ФЭП мощность и выходное напряжение сильно зависят освещенности. Для более эффективной работы одного модуля ФЭП следует подключить к его выходу каскад регуляторов постоянного тока, при этом первый — повышающий — отбирает максимальную мощность от модуля ФЭП, а второй является реверсивным, также построенным на базе повышающего регулятора постоянного тока, но с двумя управляемыми ключами. Для повышения напряжения на общей шине следует соединять последовательно выходы первого регулятора постоянного тока, а выходы второго регулятора подключать к шине постоянного тока. Такая топология, а в частности второй регулятор из описанного выше каскада, сможет позволить поддерживать напряжение на шине постоянного тока в случае затемнении какого-либо модуля [1], [2].

В работе представлены результаты компьютерного моделирования. Отслеживание точки максимальной мощности осуществлялось по методу возмущения и наблюдения.

Сделана оценка эффективности системы. Проанализированы достоинства и недостатки каскадного соединения регуляторов постоянного тока при работе совместно с ФЭП.

Литература

1. **Bratcu A. I., Munteanu I., Vacha S., Picault D., Raison B.** Cascaded DC–DC Converter Photovoltaic Systems: Power Optimization Issues // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 2, Feb. 2011.
2. **Крюков К. В., Баранов Н. Н., Антонов Б. М.** Повышение эффективности совместной работы солнечной электростанции с промышленной сетью переменного тока // *Электротехника*, № 7, с. 67–72, 2017.

А. И. Окунева, студ.; рук. А. В. Соломатин, асс. (НИУ «МЭИ»)

АСУ ТП ПРОИЗВОДСТВА ЗЕЛЕННОЙ КОРМОВОЙ КУЛЬТУРЫ

Сегодня без автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП) не обходится ни одна отрасль производства. Проектирование и разработка АСУ ТП ведется наряду с внедрением SCADA систем в производство, что обеспечивает безошибочное выполнение сложных задач без использования человеческого фактора, возможность обработки большого количества данных, комплексное взаимодействие между объектами производства, а также делает такую систему универсальной.



Рис. 1. Уровни АСУ ТП

Collision Resolving, в отличие от Collision Detect в Ethernet, что позволяет не терять пропускную способность из-за коллизий. В качестве протокола данного уровня был выбран CANopen. Протокол не требует обязательного наличия мастера сети, хотя при этом существуют возможности, которые доступны только одному узлу в сети [1].

Для согласования протоколов, используемых в верхнем и среднем уровне, можно использовать готовый шлюз, позволяющий соединять устройства CANopen и устройства Modbus TCP и наоборот. Либо специальную программу (OPC сервер), осуществляющую трансляцию между уровнями, которая будет автономно работать на сервере вместе со SCADA системой.

Таким образом АСУ ТП будет иметь возможность замены SCADA системы, что делает ее универсальной.

В предлагаемом проекте используется трехуровневая иерархия (рис. 1). В качестве основного протокола верхнего уровня (SCADA система) был выбран Modbus TCP, т.к. большинство SCADA систем предоставляют поддержку данного протокола, что значительно упрощает реализацию всего проекта, а соединение при помощи Ethernet обойдется гораздо дешевле и проще, чем RS-485 (Modbus RTU).

Для среднего и нижнего уровня был выбран стандарт сети CAN. Главным достоинством CAN является его надежность. В нем используется тип доступа

Литература

1. **Денисенко В. В.** Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. М.: Горячая линия-Телеком, 2009.

К. О. Панфилов, студ.; рук. Ю. Б. Церковский, асс. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ЕМКОСТНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НИЗКОВОЛЬТНОЙ АППАРАТУРЫ НА КОММУТАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ

В современном мире широкое распространение получила низковольтная защитная аппаратура. Для определения корректного срабатывания аппарата защиты применяются специальные испытания. Одним из видов испытаний является проверка на коммутационную стойкость. Результаты испытаний должны удовлетворять ГОСТ Р 50345-2010 и ГОСТ Р 50030.2-2010.

Проблема данного метода испытаний заключается в том, что требуется сеть с большой мощностью КЗ, что практически осуществимо только при использовании ввода среднего напряжения [1].

В связи с кратковременностью протекания тока во время испытания целесообразно использовать накопитель энергии, что позволит снизить стоимость установки. Ниже приведен график тока и напряжения от времени в испытательной цепи.

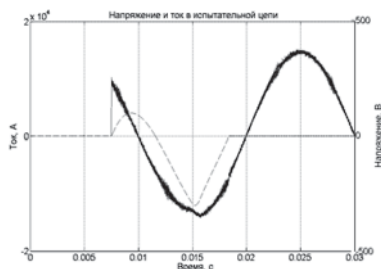


Рис. 1. Диаграмма зависимости напряжения (сплошная линия) и тока (пунктир) от времени в испытательной цепи

Литература

1. Федченко И. К. Техника высоких напряжений. — Киев: Вища школа, 1969.

*Н. И. Петров, студ.;
рук. П. А. Дергачев, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ АКТИВНОЙ МЮОННОЙ ЗАЩИТЫ

В Европейской организации по ядерным исследованиям предложен проект по созданию установки активной мюонной защиты, которая состоит из нескольких секций и представляет из себя систему электромагнитов постоянного тока разной формы. Установка должна создавать магнитное поле с индукцией $\sim 1,8$ Тл в заданной области с целью фильтрации от мюонов исследуемого пучка частиц. Данные электромагниты имеют крупные размеры, а самая большая секция имеет габариты $8 \times 5,88 \times 1,76$ м (Д \times В \times Ш) [1]. Учитывая эти габариты, магнитопровод будет собираться из отдельных шихтованных блоков. Во время сборки магнитопровода в стыках между блоками образуются зазоры, на которых происходит падение магнитного напряжения. Из-за этого резко увеличивается МДС катушки, необходимая для создания заданного магнитного поля. Также на данный параметр сильное влияние оказывают магнитные свойства материала магнитопровода. Поэтому при решении данной инженерной задачи одними из основных вопросов стали являются поиск оптимального варианта стыков блоков и выбор материала магнитопровода, от которого зависит величина необходимой МДС катушки.

На данный момент исследуются три основных варианта стыков: обычное соединение блоков с определенной сборкой пакета листов в месте стыка, сваривание блоков между собой электроннолучевой сваркой, установка постоянных магнитов между блоками. В качестве материала магнитопровода была выбрана листовая электротехническая анизотропная сталь, которая обладает лучшими магнитными свойствами в направлении ее прокатки при производстве.

В рамках данной работы проводилось исследование электромагнитов с учетом всех факторов. Было проведено их моделирование в современном программном обеспечении на основе метода конечных элементов. Созданы модели, которые позволяют учитывать анизотропные свойства стали и изменение ее свойств при состыковке блоков с помощью сварки. Спроектированы прототипы с целью проверки результатов расчета.

Литература

1. **Gorbounov P.** On the field shape of the SHiP Active Muon Shield // Memo PG-SHiP-05-20.04.2017

А. С. Попов, студ.; рук. М. Г. Лепанов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ГИБРИДНЫЙ ФИЛЬТР ДЛЯ НИЗКОВОЛЬТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Гибридный фильтр — это один из способов фильтрации высших гармоник в системе электроснабжения. Помимо этого, существуют такие способы фильтрации, как применение пассивного или активного фильтра [2]. Гибридный фильтр является комбинацией соединения двух данных типов фильтров, при этом совмещая в себе достоинства каждого из них, а именно большая установленная мощность и качественная фильтрация благодаря пассивной и активной части соответственно [1]. Пассивный фильтр выполняет роль резонансного контура, сопротивление которого на настраиваемой частоте минимально, а активный генерирует токи в противофазе с токами фильтруемых гармоник фильтра, тем самым снижая их значение до нуля.

Была рассмотрена работа гибридного фильтра, параллельно подключенного к нагрузке, как более надежная и менее затратная с точки зрения экономики [1]. В качестве нагрузки был использован неуправляемый выпрямитель заданной мощности. Пассивная часть схемы реально представлена в виде параллельно соединенных фильтров, настроенных на фильтрацию 3, 5 и 7 гармоник. В качестве активного фильтра используется полупроводниковый преобразователь малой мощности. Качество работы фильтра оценивается гармоническим составом тока сети. Форма сигнала близка к синусоидальной, а значение коэффициента нелинейных искажений THD достигло 11,73%.

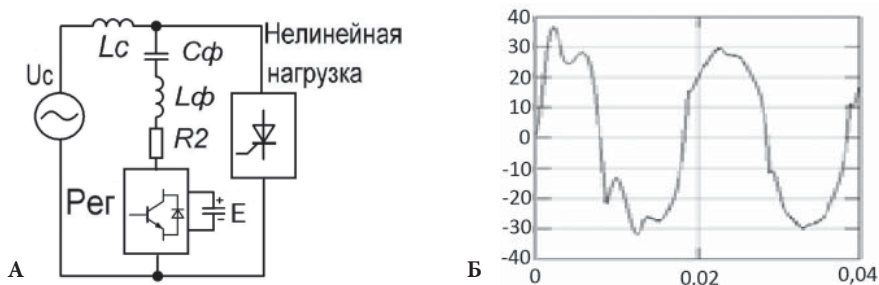


Рис. 1. Схема подключения гибридного фильтра (А) и напряжения фазы сети (Б)

Литература

1. **Р. П. Гринберг.** Диссертация по теме «Разработка регулятора пассивных фильтров» диссертация к.т.н. Москва, МЭИ, 2005 г.
2. **Куско А., Томпсон М.** «Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества энергии.» Москва Издательский дом «Додэка-XXI» 2010.

И. В. Родионов, студ.; рук. К. В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПОСТАНОВКА ЦИКЛА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА РЕЗЕРВА НА БАЗЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА

Системы управления автоматическим вводом резерва (АВР) на базе программируемого логического контроллера (ПЛК) с использованием электромеханических аппаратов широко используются в настоящее время для обеспечения надежности электроснабжения электроприемников, в соответствии с заданной категорией. Цикл лабораторных работ позволяет изучить работу ПЛК управляющего силовыми аппаратами, запуском и остановкой резервного автономного источника питания, контролировать состояние вводов, реализовывать самые сложные алгоритмы поведения системы в различных ситуациях, при необходимости менять алгоритмы управления и одновременно осуществлять обмен данными с удаленной системой мониторинга [1].

Выполнение лабораторных работ поможет студентам лучше освоить устройство ПЛК и получить не только базовые знания по программированию ПЛК, но и необходимые навыки о средствах отладки, а также получить представления о широких возможностях применения ПЛК в современных автоматических системах управления.

На основе исследования алгоритмов работы АВР были разработаны и предложены к реализации различные варианты схем АВР. Для примера был разработан и отлажен алгоритм реализации АВР 2 в 2 в программном комплексе CoDeSys с учетом работы схемы в номинальных и аварийных режимах. Лабораторный стенд имеет на лицевой панели сигнальные лампы о различных режимах работы вводов и коммутационные аппараты управления вводами, что позволяет студентами наглядно проверить в действии работу АВР по разработанному ими алгоритму, сделать выводы. Для выполнения лабораторной работы разработаны методические указания. Конечная цель работы — создание описания лабораторного стенда и создание методических указаний для выполнения лабораторной работы на этом стенде.

Литература

1. **Петров И. В.** Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / Под ред. проф. В. П. Дьяконова. — М.: СОЛОН-Пресс, 2004.

*В. В. Рыжов, асп.; рук-ли Н. А. Ведешенков, к.т.н., доц.;
П. А. Дергачев, к.т.н., ст. преп. (НИУ МЭИ)*

МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НИЗКОВОЛЬТНОЙ ДУГИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

На данный момент в мире наблюдается стремительное увеличение мощности промышленного оборудования, большую долю аппаратов защиты в котором занимают автоматические выключатели (АВ). Следовательно, увеличиваются токи короткого замыкания и возникает потребность в увеличении отключающей способности электрических аппаратов. В связи с этим, важное значение приобретают процессы моделирования дуги и ее гашения. В работе была рассмотрена методика инженерного моделирования низковольтной дуги постоянного тока методом конечных элементов.

Все моделирование происходило в единой среде, в программе COMSOL Multiphysics, возможностей которой оказалось достаточно для выполнения поставленных задач.

В данной работе была изучена методика моделирования распространения дуги между двумя токоведущими контактами. В модели была учтена сила Лоренца во внешнем поперечном магнитном поле, действующая на загоревшуюся дугу, за счет чего последняя начинает движение по направляющим контактам.

В результате выполнения работы была получена модель, в которой использовалась комбинация следующих физик: растекание электрических токов, электромагнитное поле с учетом силы Лоренца, тепловое поле, газодинамическое поле.

Была изучена динамика распространения дуги во внешнем магнитном поле между двумя неподвижными токоведущими контактами и их нагрев.

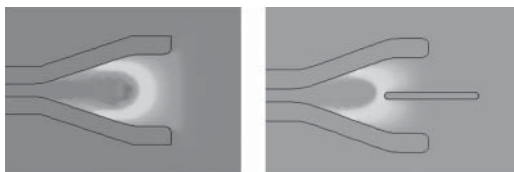


Рис. 1. Результаты моделирования во внешнем поперечном магнитном поле без ферромагнитной пластины (слева) и с ней (справа)

Д. А. Сидорова, студ.; рук. И. С. Лазарев, асс. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ВНУТРИТРУБНОГО ДЕФЕКТΟΣКОПА СПИРАЛЬНОГО НАМАГНИЧИВАНИЯ

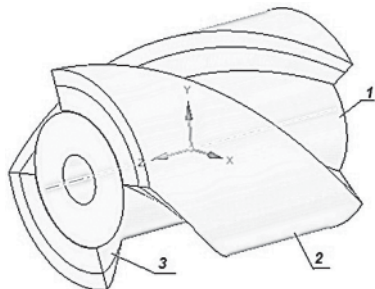


Рис. 1. Модель внутритрубного дефектоскопа спирального намагничивания: 1 — магнитопровод; 2 — щетки; 3 — постоянные магниты

Магнитный дефектоскоп определяет дефекты с помощью магнитного метода контроля. Магнитный контроль основан на индикации эффекта взаимодействия магнитного поля с контролируемым объектом, изготовленным из ферромагнитного материала. Если в намагниченном металле встречаются области с дефектами-непlothностями, магнитная проницаемость которых отличается от магнитной проницаемости основного металла, появляются магнитные поля рассеяния, выходящие наружу. Индикация этих полей позволяет получить информацию о дефектах.

Магнитный контроль проводится в приложенном или остаточном магнитном поле. Выбор направления магнитного поля, а следовательно, и способа намагничивания, зависит от ориентации дефектов. Магнитное поле должно быть перпендикулярно направлению дефекта.

На рисунке 1 представлен смоделированный в процессе работы дефектоскоп. За счет спирального расположения постоянных магнитов 3 относительно магнитопровода 1 дефектоскоп спирального намагничивания ориентирован на выявление дефектов продольного и поперечного направления одновременно. [1]

Для выполнения поставленной в работе задачи использовалась программа COMSOL Multiphysics. Выявлена зависимость габаритных размеров магнитопровода и толщины стенки трубы на среднее значение напряженности магнитного поля.

Литература

1. Патент РФ № 2529655. Прибор контроля трубопровода с двойной спиральной матрицей электромагнитоакустических датчиков. Публикация патента: 27.09.2014

Е. А. Тельнов, студ.; К. В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОПИСАНИЕ ЛОГИКИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ЦЕЛЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Логику работы любого электрического аппарата можно описать при помощи математической модели дискретного устройства с конечным числом возможных состояний, т. е. машины состояний (конечного автомата) [1]. Такое описание может быть выражено, например, таблично или при помощи графа состояний.

При этом, для верификации состава сложного комплекса ЭА, рассмотрение системы таким образом будет неудобным в виду сложности учета последовательности во времени событий. Для качественного выполнения задачи необходимо разработать имитационную математическую модель при помощи средств компьютерного моделирования.

Для этих целей можно воспользоваться программой AnyLogic. Из трех возможных методов имитационного моделирования в этой программе, необходим метод с наименьшим уровнем абстракций (агентное моделирование или дискретно-событийное) [2]. Каждый ЭА в комплексе будет представлен конечным автоматом. Посредством составленных графов состояний задается каждый такой автомат. Такая модель интерактивна, дает возможность моделирования различных режимов работы.

Таким образом, комплекс электрических аппаратов, работающих в одной системе, можно рассмотреть как комплекс взаимодействующих машин состояний.

Компьютерное моделирование взаимодействия электрических аппаратов в системах электроснабжения позволит оценить работу комплексов аппаратов на этапе проектирования с целью достижения правильной безаварийной последовательности состояний комплексов при изменении внешних или внутренних условий. Такой подход позволит: избежать создания ряда испытательных стендов для проверки прототипов проектируемых комплексов электрических аппаратов, исключить негативное воздействие «человеческого фактора» во время построения сложных комплексов при помощи лишь словесного описания логики или даже алгебры логики.

Литература

1. **Белоусов А. И., Ткачев С. Б.** Дискретная математика. М.: МГТУ, 2006.
2. **Боев В. Д.** Компьютерное моделирование. Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic 7.

В. А. Темников, студ.; П. А. Дергачев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ВВОДНОЙ СЕКЦИИ НКУ

В условиях современного развития техники к конструкции НКУ предъявляют все более жесткие требования. С одной стороны, большое внимание уделяется стоимости изделия, сокращению материалоемкости, с другой — конструкция НКУ жестко регламентируется стандартами и должна соответствовать их требованиям.

Решение данной задачи требует анализа трехмерных тепловых полей, т.к. тепловые процессы зависят от многих факторов, среди которых: расположение шин внутри конструктива и их геометрические размеры; удельное сопротивление материала шин; покрытие шин; степень защиты оболочки и наличие вентиляционных отверстий в оболочке НКУ; влияние других источников тепла, их наличие и расположение; температура окружающей среды [1].

В качестве исследуемого изделия было выбрано низковольтное комплектное устройство, основные технические характеристики которого приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики

Наименование	Характеристика
Номинальное напряжение, частота	380 В, 50 Гц
Номинальный ток	3200 А
Степень защиты	IP31
Габаритные размеры, мм	2105×810×650
Режим работы	Продолжительный S1

Моделирование теплового поля было проведено в Comsol Multiphysics. Comsol Multiphysics — это основанная на передовых численных методах универсальная программная платформа для моделирования физических задач.

Были проведены испытания вводной секции НКУ. Приведены сравнения экспериментальных данных и результатов моделирования. Произведена оценка эффективности сечения шин. Сделаны выводы о работоспособности изделия в целом.

Литература

1. **Рябчицкий М. В., Ведешенков Н. А., Лесных В. В., Савчук Е. Е.** Методика выбора сборных шин для низковольтных устройств // Безопасность труда в промышленности. 2016. № 6.

Д. В. Трофименков, студ.; рук. М. Г. Киселев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РЕГУЛИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Асинхронный генератор (АСГ) прост в конструкции и затраты на его обслуживание малы. Но для запуска и работы АСГ нужен источник реактивной мощности. Для этого служит электронный регулятор реактивной мощности. Он обеспечивает запуск и регулирование уровня напряжения АСГ при изменении активной и реактивной мощности нагрузки. Регулятор реактивной мощности выполнен на основе преобразователя АС/DC с полностью управляемыми ключами и электролитическим конденсатором на стороне постоянного тока преобразователя, управляется методами широтно-импульсной модуляции [1]. На рис. 1 представлена структурная схема ветроэнергетической установки.

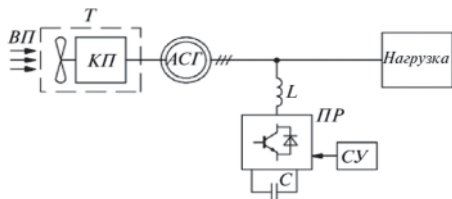


Рис. 1. Структурная схема подключения ветроэнергетической установки к нагрузке

Турбина (Т), в состав которой входит коробка передач (КП), обдувается воздушным потоком (ВП) и приводит в движение АСГ, параллельно которому подключается преобразователь (ПП) с конденсатором (С) на стороне постоянного тока, затем ток поступает на нагрузку. Регулятор подключается к сети переменного тока через согласующие дроссели (L).

На выходе регулятора формируется ток реактивного характера для запуска асинхронного генератора и его работы в установившемся режиме по формуле:

$$i_{\text{пер}}(t) = (U_{\text{пр}}(t) - U_s(t)) / (\omega L) \quad (1)$$

где $U_{\text{пр}}(t)$ — выходное напряжение преобразователя; $U_s(t)$ — напряжение сети; ω — угловая частота переменного тока; L — индуктивность дросселя.

Преобразователь с источником напряжения на стороне постоянного тока в соответствии с заданным алгоритмом переключения ключей способен генерировать напряжение различной формы. В системе управления можно выделить два основных блока. Задача первого — вычисление напряжения на регуляторе для создания необходимого реактивного тока, задача второго — управление переключением ключевых элементов преобразователя.

Литература

1. Ель Алами А., Киселев М. Г. Силовой электронный регулятор напряжения асинхронного генератора ветроэнергетических установок // Электричество. 2016. № 3. с. 43–47.

Ю. Б. Церковский, асп.; рук. Ю. К. Розанов, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

БЛОК КОМПЕНСАЦИИ ИНДУКТИВНОСТИ ДЛЯ ЛИНЕЙНОГО ГЕНЕРАТОРА

В современной энергетике все более активно используются нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, например, солнечная энергия, энергия ветра.

В последнее время активно развивается волновая энергетика — использование кинетической энергии морских волн для получения электроэнергии. Одной из самых распространенных конструкций генерирующей установки является буй, механически связанный со штоком линейного генератора.

Серьезным недостатком подобной конструкции является нестабильность выходного напряжения генератора. Кроме того, из-за особенностей конструкции подобных электрических машин, генератор обладает значительной индуктивностью, что создает проблемы при снятии с генератора электрической мощности.

Классический метод компенсации индуктивности с помощью конденсаторной батареи неприменим ввиду переменной частоты выходного напряжения.

В работе исследованы различные способы компенсации индуктивности генератора на основе формирования потребляемого от генератора тока при помощи силового электронного преобразователя [1].

Испытание макета волнового генератора с компенсатором индуктивности, работающего по принципу слежения за ЭДС измерительной обмотки машины [2] показало, что использование компенсатора позволяет увеличить снимаемую с генератора мощность в три — четыре раза.

Литература

1. **Розанов Ю. К., Рябчицкий М. В., Кваснюк А. А.** Силовая электроника. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
2. **Ran L., Mueller M. A.** Power conversion and control for a linear direct drive permanent magnet generator for wave energy // IET Renew. Power Gener., 2011, Vol. 5, Iss. 1, pp. 1–9.

А. Ю. Верстунин, студ.; рук. Н. А. Ведешенков, доц. (НИУ «МЭИ»)

ДУГОГАСИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА С ФЕРРОМАГНИТНОЙ СКОБОЙ В КОНТАКТОРАХ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Использование ферромагнитной скобы в качестве дугогасительной системы широко используется в контакторах на сегодняшний день. Несмотря на то, что данный способ был разработан еще в первой половине двадцатого века, его принцип так и не был объяснен до сих пор.

В данной работе исследуется контактор АВВ А95.

Были проведены практические испытания контактора, и теоретические расчеты [1], с целью описания принципа дугогашения, и выявления в какой степени различные физические процессы влияют на гашение дуги.

В ходе работы было установлено, что процесс данного дугогашения можно условно разделить на 2 режима:

1) коммутации номинальных значений токов (рис. 1, а):

Электромагнитная сила из-за малого значения не оказывает влияние на процесс гашения, следовательно, при малых значениях тока дуга гасится за счет деионизации ионов и электронов в пространство, окружающее ствол дуги.

2) режим редких коммутаций (рис. 1, б):

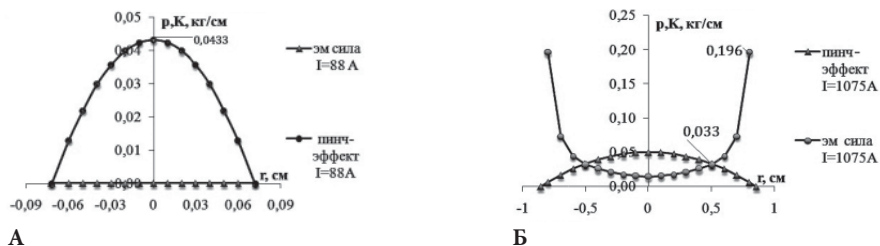


Рис. 1. Сравнение пинч-эффекта и электромагнитной (эм) силы: А — при номинальном режиме; Б — в режиме редких коммутаций

Значение электромагнитной силы будет преобладать над пинч-эффектом на определенном радиусе электрической дуги, таким образом, влияние электромагнитной силы на процесс дугогашения будет усиливаться. А так как в результате увеличения тока будет расти диаметр дуги, и будет сокращаться расстояние между ферромагнитной скобой и стволом дуги, то будет усиливаться роль рекомбинации и диффузии на третьем теле, что положительно скажется на дугогашении.

Литература

1. О. Б. Брон, Л. К. Сушков. Поток плазмы в электрической дуге выключающих аппаратов. М.: Энергия, 1975.

А. В. Захарычев, студ.; рук. Н. А. Ведешенков, доц. (НИУ «МЭИ»)

КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДУГОГАШЕНИЯ КОНТАКТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА

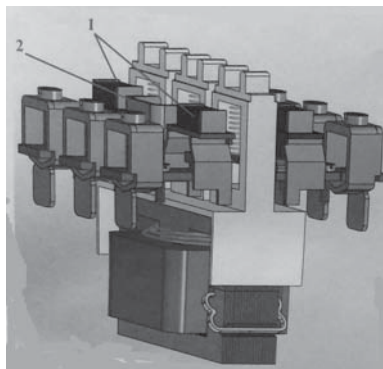


Рис. 1. Внутреннее устройство контактора

Данная работа посвящена исследованию физических явлений, сопровождающих процесс гашения дуги в контакторах постоянного тока с применением комбинированной системой гашения дуги.

В данной работе был исследован контактор ABB GA-75-10, коммутирующий постоянный ток. Данный контактор имеет комбинированную систему дугогашения: на двух полюсах установлены постоянные магниты по одному на каждый разрыв, на двух других разрывах — ферромагнитные скобы. На рис. 1 цифровой 1 обозначены постоянные магниты, цифрой 2 — ферромагнитная скоба.

В работе были проведены испытания рассматриваемого контактора при различных условиях, цель которых заключалась в исследовании влияния различных физических явлений, происходящих в ходе горения дуги, а также степень влияния каждого на горение и гашения электрической дуги [1].

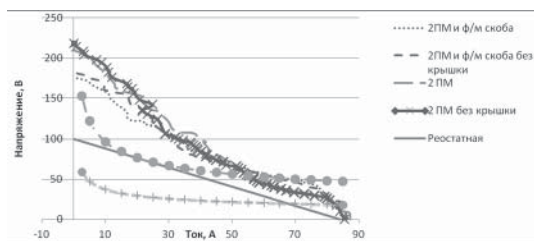


Рис. 2. Вольт-Амперные характеристики испытаний

По данным, полученным в ходе проделанных испытаний (рис. 2), установлено, что фактор давления и фактор электромагнитной силы не оказывают влияния на процесс гашения дуги в исследуемом диапазоне токов, рекомбинация на поверхности скобы вносит

значим вклад, также гашению дуги способствует Анодно-Катодное падение.

Литература

1. Буткевич Г. В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей. М.: Высшая школа, 1967.

В. В. Заничковский, студ.; рук. К. В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РЕГУЛЯТОР ПОТОКОВ МОЩНОСТИ НА БАЗЕ НЕУПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

В установках преобразования энергии морских волн (ПЭВ) в электроэнергию самой простой формой трансмиссии является соединение генератора непосредственно с первичным двигателем. В таких системах напряжение и частота на выходе генератора изменяются, что требует наличия согласующих устройств при подключении генератора к промышленной сети переменного тока. Рассматривая особенности линейных генераторов, применяемых в системах с прямым приводом, следует обратить внимание на их значительную внутреннюю индуктивность, которая ограничивает потребляемый от него ток.

В работе рассмотрено согласующее устройство для подключения линейного генератора к нагрузке [1] — преобразователь на базе неуправляемого выпрямителя и повышающего импульсного регулятора, который компенсирует индуктивную составляющую сопротивления генератора и позволяет обеспечить форму потребляемого тока близкую к форме ЭДС, вырабатываемой источником, что позволяет увеличить коэффициент мощности.

В программном комплексе Matlab была составлена компьютерная модель корректора коэффициента мощности на базе неуправляемого выпрямителя (рис. 1). Импульсы управления транзистором формируются таким образом, чтобы потребляемый ток совпадал по форме с ЭДС источника. В результате данная схема позволила получить коэффициент мощности, рассчитанный по формуле (1).

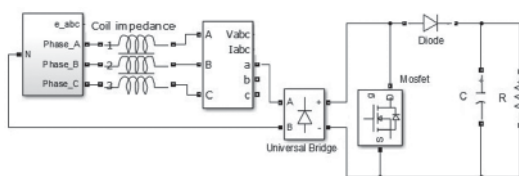


Рис. 1. Корректор коэффициента мощности

В результате данная схема позволила получить коэффициент мощности, рассчитанный по формуле (1).

$$\cos\varphi = \cos(\varphi_e - \varphi_I) = \cos(105.2 - 66.5) = 0.78 \quad (1)$$

Литература

1. Titah-Benbouzid H., Benbouzid M. An Up-to-Date Technologies Review and Evaluation of Wave Energy Converters. International review of electrical engineering-iree, 2015

Г. Б. Зиборов, асп. (НИУ «МЭИ»); рук. С. Е. Рывкин, д. т. н., доц.
(НИУ «МЭИ»), г. н. с. (ИПУ РАН, Москва)

ВЫБОР ТУРБИНЫ ДЛЯ МИКРО-ГЭС С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Экономический фактор является ключевым при принятии решения о строительстве микро-ГЭС. Необходимо обеспечивать максимальную эффективность работы станции при минимальных затратах. В связи с этим, определяющим критерием является выбор места строительства станции для обеспечения высокого напора и расхода.

Выбор турбины производится по заданным значениям суммарной мощности микро-ГЭС, расчетного напора и пределов колебаний напора. При определении диаметра рабочего колеса предварительно задаются КПД; приведенный расход определяется на кривой 5-процентного запаса мощности главной универсальной характеристики (для радиально-осевых и пропеллерных турбин), либо по условиям кавитации (для поворотлопастных турбин). Угловая скорость турбины определяется исходя из параметров ее рабочего колеса, рабочего напора и поправочного коэффициента, после чего округляется до ближайшей больше синхронной скорости. Правильность расчетов проверяется путем сопоставления полученных расчетных значений с главной универсальной характеристикой [1].

При наличии параметров мощности турбины и ее угловой скорости определяется приводной момент турбины, который в номинальном режиме работы компенсируется моментами сухого и вязкого трения и электрическим моментом. В данном случае для управления генератором на микро-ГЭС используется регулятор мощности. В номинальном режиме работы генератора на холостом ходу его приводной момент, равный произведению момента турбины на его КПД, равен электрическому моменту. Это позволяет определить величины статорных токов генератора в dq -координатах для моделирования системы управления его выходными параметрами [2].

С помощью программного комплекса *PSIM* было проведено моделирование номинального режима работы микро-ГЭС. Были получены стабильные величины частоты и напряжения в требуемых диапазонах.

Литература

1. **Ковалев Н. Н.** Гидротурбины. Конструкции и вопросы проектирования. — Л.: Машиностроение, 1971.
2. **Виноградов А. Б.** Векторное управление электроприводами переменного тока. — Иваново: ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина», 2008.

Секция 25

ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИКА

Председатель секции — зав. каф. АЭП к.т.н., доцент А.С. Анучин

Секретарь секции — к.т.н., доцент Д.А. Благодаров

*А. В. Алейников, асп.; рук-ли В. А. Мартынов, д.т.н., проф.;
А. Н. Голубев, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)*

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЕМ УЛУЧШАЮЩИЙ ВИБРОШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В связи с постоянным развитием техники и технологий требования к электроприводам постоянно становятся все более жесткими, в том числе и к таким параметрам как пульсации электромагнитного момента на валу двигателя и акустический шум, создаваемый во время работы. С этим активно борются еще на стадии проектирования двигателей, однако наилучших результатов можно добиться в совокупности со специальными алгоритмами управления электроприводом.

Во время работы любой электрической машины в ней возникают силы, которые можно разделить на радиальные, тангенциальные и осевые. Основным источником магнитных шумов в синхронных электродвигателях с постоянными магнитами является деформация статорного кольца, вызванная пульсациями радиальных сил, действующих на зубцы [1].

Используя разработанные математические модели [2, 3] возможно в режиме реального времени рассчитывать мгновенные значения фазных токов, необходимые для поддержания постоянного момента и снижения пульсаций радиальных сил. На низких скоростях эти значения можно выдавать на вход регуляторов тока, быстрого действия которых хватит для постоянного изменения задания. В случае использования электропривода на высоких скоростях представляется возможным для питания двигателя использовать регулируемые источники тока с ограничением по максимальному напряжению. Они позволят поддерживать задание по току, в то же время в связи с ограничением по напряжению система управления не будет иметь большого коэффициента усиления и не выйдет за пределы устойчивости. Данный подход позволит обойтись без вычисления напряжений необходимых для точной отработки задания.

Литература

1. **Голубев А. Н., Лапин А. А.** Многофазный синхронный регулируемый электропривод. — Иваново: Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина, 2008.
2. **Алейников А. В., Голубев А. Н., Мартынов В. А.** Разработка уточненной математической модели синхронного двигателя с постоянными магнитами для расчетов в реальном времени // Вестник ИГЭУ. — 2017. — №. 5. — С. 37–43.
3. **Алейников А. В., Голубев А. Н., Мартынов В. А.** Математическая модель для расчета электромагнитных сил в синхронном электроприводе с постоянными магнитами // Вестник ИГЭУ. — 2015. — №. 1. — С. 10–13.

*А. С. Авдеев, студент;
рук. О. И. Осипов, д.т.н., профессор. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

В связи с бурным развитием электроники и микропроцессорных систем управления широкое распространение находят электродвигатели самых различных конструкций и исполнений. Для построения высококачественных систем управления зачастую требуется знание достаточно точных параметров той или иной машины. Большинство из этих параметров не приводятся в справочниках или справочные параметры не всегда соответствуют конкретной машине, что необходимой для качественной реализации системы управления. К тому же, некоторые параметры двигателя могут изменяться в ходе работы, например, активное сопротивление обмоток или взаимная индуктивность. Таким образом, при разработке и проектировании высококачественного электропривода возникает необходимость в предварительной идентификации параметров двигателя и их подстройке в ходе эксплуатации.

Работа посвящена исследованию, разработке и реализации алгоритма идентификации параметров для разных типов электродвигателей, путем сравнения переходных процессов токов и скорости исследуемого двигателя и его динамической модели, параметры которой генерируются с использованием генетического алгоритма (ГА) [1–3].

В работе рассматриваются вопросы оптимизации ГА для увеличения скорости идентификации, так как данный метод требует высокие вычислительные мощности и, следовательно, может занимать продолжительное время. Анализируется возможность применения данного алгоритма к приводу. Исследуются разные структуры наблюдателей для подстройки параметров электропривода в ходе его эксплуатации.

Литература

1. **Ткачук Р.Ю., Глазырин А.С., Полищук В.И.** Идентификация параметров асинхронного двигателя с применением генетических алгоритмов // Омский научный вестник. — 2012. — № 3. — С. 245–248.
2. **Эволюционные алгоритмы.** [Электронный ресурс] — Режим доступа: http://sernam.ru/book_gen.php?id=47 (дата обращения 15.09.2017).
3. **Портал искусственного интеллекта.** [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://neuronus.com/em/19-theory.html> (дата обращения 15.09.2017).

Ю. С. Батанов, Д. С. Кулагин, студенты;
рук. С. К. Лебедев, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

РЕГУЛЯТОРЫ ПОЛОЖЕНИЯ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Электромеханические модули (ЭММ) с регуляторами положения применяют в сервоприводах для изменения положения исполнительных органов тех и или иных механизмов, от задвижек трубопроводов до механизации крыла летательных аппаратов. Наряду с требованием реализации заданного положения к ЭММ часто предъявляются дополнительные требования по обеспечении динамике процессов и ограничению параметров движения.

Высокое качество реализации процесса позиционирования обеспечивает настройка на динамику Бесселя [1], характерную монотонностью и минимальным переуправлением. Но если требуется движение с заданными параметрами (скорость, ускорение и т.д.), тогда на входе системы устанавливают формирователи траектории позиционирования (задатчики интенсивности) или применяются регуляторы с ограничением на выходе [1, 2]. В условиях применения настроек на динамику Бесселя задание постоянной скорости движения дает задержку, соответствующую времени группового запаздывания. Применение регуляторов с ограничением на выходе невозможно для систем с астатизмом 2-го порядка при любой реализации.

Предлагаются варианты построения ЭММ с формирователями траектории позиционирования и регуляторами с переменной структурой, в которых происходит коммутация входных фильтров в зависимости от состояния формирователя траектории. При этом сохраняются свойства динамики Бесселя, и устраняется ненужное запаздывание при позиционировании с заданием скорости движения.

Предложенные технические решения поддержаны положительными результатами моделирования вариантов ЭММ в различных режимах позиционирования в среде моделирования *Simulink* программного комплекса *Matlab*.

Дальнейшие исследования предполагается направить на исследование характеристик ЭММ в режимах постоянства ускорения движения при позиционировании.

Литература

1. Лебедев С. К., Колганов А. Р., Гнездов Н. Е. Электромехатронные системы позиционирования с наблюдателями нагрузки / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». — Иваново, 2016. — 340 с.
2. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов. М.: Изд. дом «Академия», 2005. — 304 с.

*Н. Н. Дульнев, Н. Н. Федорцов, студенты;
рук. Ю. М. Сафонов, к.т.н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В настоящее время переоценить значение электрического привода в промышленности трудно, недаром он потребляет большую часть электрической энергии, вырабатываемой в мире. Именно поэтому исследования в области энергетики электропривода являются важными и даже необходимыми, так как могут привести к разработке средств и способов минимизации потерь, то есть экономии.

Для проведения экспериментов на кафедре АЭП МЭИ был разработан стенд, силовая часть которого состоит из современного общепромышленного оборудования производства компании Siemens. Электромеханическая часть представлена двумя асинхронными двигателями, валы которых соединены с помощью муфты. Машины подключены к электрической сети посредством преобразователей частоты SINAMICS G120 с возможностью рекуперации энергии в сеть. К примеру, при осуществлении рекуперативного торможения управляемый выпрямитель с помощью программного обеспечения модуля CU250S обеспечивает слив энергии обратно в сеть. Оценить и наблюдать данный процесс можно благодаря анализатору качества энергии Klea фирмы Klemspan, установленному на стенде.

В ходе испытаний был рассмотрен гармонический состав токов и напряжений, перекося фаз, искажение частоты электрической сети, оценен коэффициент мощности в разных режимах работы системы преобразователь частоты — асинхронный двигатель. Также были проведены аналогичные исследования при работе привода от потенциально-развязанной сети соизмеримой мощности и рассмотрено влияние работы преобразователя на нее. Были проведены опыты с использованием внешних фильтрующих устройств, как со стороны сети, так и со стороны двигателя, которые позволили оценить эффект использования данных компонентов.

В докладе приведены методики выполнения экспериментальных исследований, а также содержатся выводы и рекомендации по улучшению энергетических показателей асинхронного частотно-регулируемого электропривода.

*Д. С. Еленский, студент;
рук. М. Г. Тяпкин, к.т.н., ст. научн. сотр. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПРЕЦИЗИОННЫМ СИСТЕМАМ ДВИЖЕНИЯ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ

Точность работы и производительность технологического оборудования определяется координатной системой движения. Координатная система движения должна обладать высокой точностью и быстродействием, иметь возможность длительной и непрерывной работы с минимальным количеством отказов для поддержания высокой производительности [1].

Традиционные электропривода на базе вращающихся электрических машин имеют значительные недостатки и не удовлетворяют современным требованиям высокой скорости, надежности и точности для создания линейного движения.

Электропривод на базе синхронного планарного двигателя (СПД) нашел применение для прецизионных координатных систем движения благодаря тому, что он может развивать большую скорость при высокой точности движения в нескольких координатах, имея подвижную часть [2, 3].

СПД представляет собой механизм с параллельной кинематикой и обладает рядом преимуществ, таких как: повышенная точность, обусловленная параллельной структурой, жесткость, надежность. Недостатком механизмов с параллельной кинематикой является повышенная сложность управления.

Данная работа направлена на подробное исследование методов улучшения точности электропривода, таких как: изменение разрядности регулятора тока, изменения разрядности наблюдателя положения, а также выбор датчика положения. По результатам исследования будет произведена модернизация существующего электропривода.

Литература

1. **Тяпкин М. Г.** Исследование и разработка прецизионного планарного электропривода: диссертация к.т.н., МЭИ, 2013.
2. **Балковой А. П., Цаценкин В. К.** Прецизионный электропривод с вентильными двигателями: Москва: Издательский дом МЭИ, 2010. — 328 с.
3. **Tolstykh O. A., Tiapkin M. G., Slivinskaya G. A., Tsatsenkin V. K.** Planar Stage for Precision Motion Applications ICPDS'2016. — Пермь, 2016.

*Н. Н. Федорцов, Н. Н. Дульнев студенты;
рук. Ю. М. Сафонов, к.т.н., профессор. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗГИБНЫХ УПРУГОСТЕЙ РОБОТА YUMI

Одной из важнейших тенденций развития промышленной робототехники является совместная безопасная работа людей и роботов. Именно этим объясняется широкий интерес к разработке, созданию и повсеместному внедрению коллаборативных роботов. Представитель роботов для совместной работы с человеком — Yumi. Немаловажная особенность Yumi — это наличие двух рук, что позволяет совершать более сложные задачи за меньшее время, например, мелкая сборка, где требуется высочайшая точность (особенно часто встречается в электронной промышленности). Обеспечение высокой точности позиционирования Yumi осложняется необходимостью синхронной работы обеих рук. У каждого даже самого современного робота есть ошибки конечного положения схвата и повторения заданной траектории. Величина этих погрешностей зависит от ряда факторов. Один из наиболее важных среди них — это изгибные упругости.

В данной работе приведены характеристики и опытные данные полученные в ходе экспериментальных исследований и измерений, произведенных на промышленном коллаборативном роботе Yumi. В теоретической части работы даны описания влияния изгибных упругостей на точность позиционирования промышленных роботов. Приведено математическое описание изгибных упругостей в форме дифференциального уравнения с частными производными:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \nu \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} = q(x, t), \quad (1)$$

где u — смещение от центральной оси звена с распределенными параметрами, и определяющая динамическую точность позиционирования; x — координата точки смещения от оси вращения звена; q — распределенная сила вдоль звена.

Предложено использование нейронной сети для решения задачи повышения точности позиционирования и сужения коридора отклонений при повторении заданной траектории роботом.

Проведено обучение нейронной сети (многослойный перцептрон) по принципу обратного распространения ошибки. В процессе работы показано, что динамические показатели робота улучшаются при внедрении нейронной сети, компенсирующей влияние изгибных упругостей.

*А. В. Фролкин, Д. М. Киселев, студенты;
рук. Д. И. Савкин, к. т. н., асс. (НИУ «МЭИ», Москва)*

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ НА БАЗЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО МИКРОПРОЦЕССОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

С ростом числа и усложнением алгоритмов цифрового управления электрических систем увеличивается потребность в применении высокопроизводительных сигнальных микроконтроллеров с различными периферийными модулями [1]. В связи с политикой импортозамещения, декларируемой в России с 2014 г., такие системы стали актуальны на базе отечественных микроконтроллеров, таких как K1921BK01T фирмы АО «НИИЭТ» на ядре ARM [2].

Применение интегрированной среды разработки программного обеспечения «Vector IDE» делает возможным проектирование и отладку как на языке Ассемблер, так и на языке высокого уровня C/C++.

Настоящая работа посвящена изучению особенностей отечественных процессоров на базе архитектуры ARM, а также созданию практического курса для студентов старших курсов. Курс ориентирован на изучение:

- основ программирования на языке C/C++ в интегрированной среде «Vector IDE»;
- архитектуры микроконтроллеров;
- методов разработки и отладки проектов;
- общих принципов и функциональных возможностей при работе с периферией.

Результатом этой работы будет являться разработанный лабораторный практикум по изучению возможностей языка C/C++ и использованию микроконтроллера K1921BK01T и его периферии для задач Motor Control (управления двигателями).

Литература

1. Алямкин Д. И., Анучин А. С., Дроздов А. В., Козаченко В. Ф., Тарасов А. С. Встраиваемые высокопроизводительные системы управления. Москва: Издательский дом МЭИ, 2010 — 270 с.
2. Анучин А. С., А. А. Жарков, В. Ф. Козаченко, М. Лашкевич, И. Потапов Отечественный микроконтроллер K1921BK01T для управления электродвигателями. Электроника. — 2016. — № 1 (00151) — С. 80–93.

А. Н. Ильичев, асп.;
рук. А. Н. Ладыгин, к.т.н., профессор (НИУ «МЭИ», Москва)

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОДАЧИ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ ПРОКАЧКИ НЕФТИ

Сегодня никого не требуется убеждать в актуальности проблем, связанных с повышением эффективности систем прокачки нефти. Применительно к нефтеперекачивающим станциям (НПС) решение этих проблем должно начинаться с анализа эффективности различных способов регулирования подачи нефти при ее транспортировке по нефтепроводу. Именно результатам такого анализа и посвящен данный доклад.

Обзор ситуации на отечественных НПС показал, что в насосном оборудовании этих станций преобладает высоковольтный нерегулируемый электропривод. Было выявлено, что регулирование подачи при нерегулируемом приводе, как правило, осуществляется с помощью смены роторов насосов. Такое регулирование не только является ступенчатым, но и сопровождается заметными простоями оборудования (на каждую замену уходит не менее 12 часов).

Часто используется и традиционный способ регулирования подачи — дросселирование. Способ обеспечивает плавность регулирования, но при этом характеризуется чрезвычайно низким КПД и требует дополнительного запаса прочности трубопроводной системы.

Заметное число НПС оснащено электроприводом с гидравлической муфтой. Результаты анализа показателей таких систем позволяют выбрать приемлемый диапазон регулирования производительности. Полученные данные указывают на то, что при скольжении, превышающем 20%, КПД системы начинает падать пропорционально проскальзыванию.

Представляемые в докладе результаты позволяют количественно оценить перспективность применения на НПС высоковольтного частотно-регулируемого электропривода насосов. Такая модернизация приведет не только к снижению издержек при прокачке нефтепродуктов, но и позволит повысить точность управления производительностью нефтепровода.

Перспективными для работ в рассматриваемой сфере являются задачи создания регулируемых электроприводов, конструкция которых позволяет эффективно вписаться в архитектуру действующих НПС, обеспечивая при этом повышение надежности работы насосов.

*А. В. Киселев, студ.; М. А. Соломаничев, соиск.;
рук. Б. С. Курнышев, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АДАПТИВНЫМ ФИЛЬТРОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

В процессе работы асинхронного электропривода без фильтров электромагнитной совместимости (ЭМС) на входе и выходе преобразователя частоты (ПЧ) возникают высокочастотные перенапряжения. Эти перенапряжения создают широкий спектр высокочастотных помех сложного гармонического состава с амплитудой в сотни вольт, которые распространяются вдоль электрических кабелей, вызывая мощное электромагнитное излучение в окружающую среду. В результате возникает проблема ЭМС электропривода с питающей сетью переменного тока [1, 2].

Качество переходных процессов в электрическом кабеле, соединяющем ПЧ и двигатель, сильно зависит от длины кабеля. Поэтому обычно приходится перестраивать параметры фильтров ЭМС и (или) изменять их структуру в зависимости от длины кабеля.

Предложен вариант фильтра ЭМС (рис. 1) и методика расчета его параметров для диапазона длины кабеля 10÷100 м. Фильтр ограничивает амплитуду перенапряжений и скорость нарастания напряжения на заданном уровне без перестройки параметров, при этом структура фильтра с расчетными параметрами остается неизменной. Качество переходного процесса в указанном диапазоне длины кабеля удовлетворяет требованиям ГОСТ.

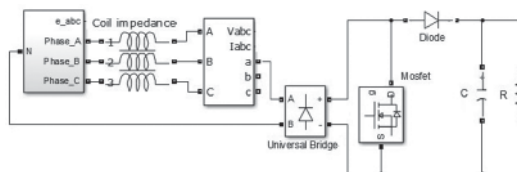


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная фильтра ЭМС

Литература

1. ГОСТ Р 51317.3.2-99 (МЭК 61000-3-2-95) «Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний».
2. ГОСТ Р 51317.3.3-99 (МЭК 61000-3-3-94) «Совместимость технических средств электромагнитная. Колебания напряжения и фликер, вызываемые техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе), подключаемыми к низковольтным системам электроснабжения. Нормы и методы испытаний».

*А. В. Ковалев, М. Г. Степанов, А. А. Чесноков, студенты;
рук. Н. Н. Строев, к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА КОМПЕНСАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИЛЫ

Электронное устройство компенсации механической силы представляет собой систему, обеспечивающую компенсацию физических усилий человека, возникающих при перевозке грузов в так называемом ручном транспорте (тележки, тачки и т.д.). В качестве сенсоров в системе применяются тензодатчики и датчик угла поворота. С их помощью определяется механическое усилие, которое компенсируется электромеханической системой. Разработанная система состоит из блока тензодатчиков, датчика угла поворота, микроконтроллера с формирователями управляющих напряжений, силового модуля с MOSFET-ключами для управления двигателями, исполнительных двигателей постоянного тока привода колес и аккумулятора [1].

Анализ в области электромеханических систем дал понять, что в абсолютном большинстве устройств, оснащенных одним или несколькими электродвигателями, предусмотрена возможность преобразования механической энергии в электрическую и возврат ее обратно в питающую сеть. Таким образом, возникает необходимость разработки модуля, ответственного за выполнение данных функций.

Рекуперативное торможение — это вид торможения, при котором механическая энергия тяговых электродвигателей преобразовывается в электрическую и возвращается в питающую сеть. Подобный вид торможения широко применяется на электровозах, электропоездах, в гибридных и электроавтомобилях [2].

Учитывая тот факт, что одним из важнейших свойств устройства компенсации механической силы является его автономность, разработка модуля рекуперативного торможения представляется важнейшей задачей модернизации данной системы. Оно позволит значительно снизить расход электроэнергии и увеличить время работы до следующего заряда аккумулятора.

Литература

1. **Хоровиц П.** Искусство схемотехники: справочное руководство. М.: Мир, 2011.
2. Возврат электроэнергии в сеть с помощью частотных преобразователей [Электронный ресурс]: URL: <https://chastotnik.com.ua/a-vozvrat-elektroenergii-v-set-s-pomoshchyu-chastotnih-preobrazovateley>

*Е. В. Крымская, М. А. Орехов студенты;
рук. Ю. Н. Сергиевский, к.т.н., профессор (НИУ «МЭИ», Москва)*

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Важнейшим направлением развития современного электропривода (ЭП) является повышение его энергоэффективности, поскольку им потребляется более 60% производимой электроэнергии. Силовой канал ЭП включает в себя преобразователь с фильтрокомпенсирующими устройствами, двигатель и трансмиссию, причем потери в каждом из этих элементов зависят как от его конструкции, так и от параметров принимаемой и отдаваемой им энергии, т. е. соседних элементов. Поэтому данная проблема приобретает системный характер.

В литературе наиболее полно отражена оценка энергоэффективности двигателей. Приняты стандарты с требованиями по классам энергоэффективности (IE-коды) [1], регламентирующие КПД двигателей с синусоидальным питанием при номинальном режиме работы. Разработаны методы оценки потерь энергии в зависимости от нагрузки и при несинусоидальном питании [2, 3].

Гораздо меньше информации имеется по потерям в преобразователях, которые становятся соизмеримыми с потерями двигателей средних и больших мощностей высоких классов IE. Если номинальный КПД современных преобразователей дается в документации, то его зависимость от частоты коммутации и параметров нагрузки найти затруднительно. Это же касается фильтров. Отсутствуют нормированные методики экспериментальной оценки потерь в преобразователях.

Настоящая работа посвящена выбору метода экспериментальной оценки энергоэффективности преобразователей частоты. Приведена сравнительная оценка трех экспериментальных методов измерения потерь:

- по разности выходной мощности преобразователя и входной;
- по тепловым потерям в преобразователе;
- по разности суммарных потерь в ЭП и потерь в двигателе.

Литература

1. **ГОСТ Р 54413** Машины электрические вращающиеся Часть 30 Классы энергоэффективности односкоростных трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (код IE), 2011.
2. **Karkkainen H.** Converter-fed induction motor losses: determination with IEC methods. Master's thesis, Lappeenranta University of Technology, Finland, 2015.
3. **IEC 60034-2-3** Машины электрические вращающиеся Часть 2–3 Специальные методы определения потерь и коэффициента полезного действия асинхронных двигателей переменного тока с питанием от преобразователя, 2015.

А. М. Куканов, студент;
рук. С. К. Лебедев, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ С ЗАДАНИЕМ СКОРОСТИ И УСКОРЕНИЯ В ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ МОДУЛЯХ

Наряду с реализацией задания на позиционирование электромехатронные модули (ЭММ) должны обеспечивать выполнение требований технических заданий на ограничение или фиксацию параметров движения исполнительных органов. Наиболее распространенным требованием является требование обеспечения ограничения или задания определенной скорости при позиционировании, что особенно важно для станочных и робототехнических систем. Плавность движения повышает контроль ускорения, что важно в транспортных применениях ЭММ [1].

Для ЭММ позиционирования с модифицированными ПИД регуляторами рассмотрены два варианта реализации задания скорости и ускорения:

- задание скорости в виде ограничения на выходе регулятора положения, что реализуемо для статических систем и систем с астатизмом 1-го порядка;
- использование на входе регуляторов положения формирователей траектории позиционирования (задатчиков интенсивности), формирующих на выходе траекторию позиционирования с заданными параметрами движения (скоростью, ускорением) [2].

Разработаны алгоритмы формирования траекторий позиционирования с заданием скорости, скорости и ускорения, реализуемые в современных DSP контроллерах, в том числе и отечественной разработки. Средствами имитационного моделирования в среде *Simulink* программного комплекса *Matlab* выполнено сравнение вариантов реализации ЭММ позиционирования с модифицированными ПИД регуляторами, настроенными на динамику Бесселя [2]:

- статическая система с П(Д) регулятором;
- система с астатизмом I порядка с ПИ(Д) регулятором;
- система с астатизмом II порядка с ПИ2И(Д) регулятором.

На основе полученных результатов выработаны рекомендации по практическому использованию предлагаемых формирователей траектории позиционирования в ЭММ.

Литература

1. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов. М.: Изд. дом «Академия», 2005. — 304 с.
2. Лебедев С. К., Колганов А. Р., Гнездов Н. Е. Электромехатронные системы позиционирования с наблюдателями нагрузки / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». — Иваново, 2016. — 340 с.

*Е. С. Кулик, студент;
рук. А. С. Анучин, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ», Москва)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИМПУЛЬСНО-ФАЗОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУУПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Одним из главных узлов преобразователя частоты является звено постоянного тока (ЗПТ) с блоком конденсаторных батарей. Современное решение для заряда ЗПТ — использование управляемого выпрямителя с системой импульсно-фазового управления [1]. Для синхронизации с сетью, как правило, измеряются линейные напряжения. Однако изолированный датчик напряжения имеет большую стоимость, что приводит к увеличению конечной цены преобразователя частоты.

Настоящая работа посвящена разработке системы импульсно-фазового управления для полууправляемого выпрямителя, с синхронизацией по двум напряжениям фаз относительно нижней шины ЗПТ. Данный тип датчика реализуется с помощью простого делителя напряжения.

Реализован алгоритм для синхронизации с сетью по полученным сигналам с датчиков V1 и V2 (рис. 1), рассмотрены проблемы управления полууправляемым выпрямителем и пути их решения. Полученная система позволяет исключить дополнительные силовые элементы в цепи заряда и позволяет регулировать время заряда звена постоянного тока [2].

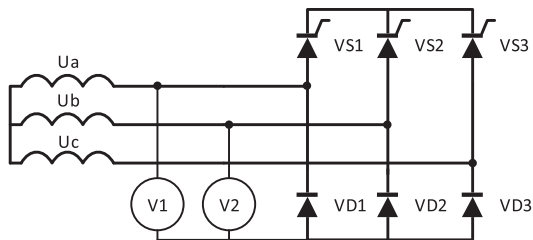


Рис. 1. Полууправляемый выпрямитель с датчиками напряжения для синхронизации с сетью

Литература

1. **Попков О.З.** Основы преобразовательной техники. Москва, Издательский дом МЭИ, 2007.
2. **П. Новиков, Н. Гриднев.** Плавный заряд емкости. Силовая Электроника, № 2, 2012.

*Е. А. Миколаенко студ.;
рук. А. В. Пруднов, к. т. н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОТОЧНОЙ СИСТЕМЫ ДВУХДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Данная работа посвящена разработке системы регулирования скорости исполнительного механизма, соединенного с двухдвигательным электроприводом через упругую кинематическую передачу, содержащую зазор.

Для электропривода подач металлорежущих станков с большими перемещениями важным фактором является устранения влияния зазоров и упругостей кинематической цепи. Рассмотрены возможные пути устранения влияния этих факторов: механические (беззазорные муфты, беззазорные шарико-винтовые и ролико-винтовые пары) и электромеханический способ выборки люфта с использованием двухдвигательного привода.

Наличие люфта (зазора) и упругих элементов кинематической цепи ограничивает быстродействие и влияет на точность электроприводов.

Для уменьшения влияния зазоров наиболее перспективным представляется строить систему по принципу электромеханической выборки зазора на основе реверсивных многодвигательных электроприводов с изменением режимов работы двигателей в зависимости от нагрузки [1].

Решение задачи устранения влияния люфта, получившее название электромеханического торсиона, заключается в том, что в системе создается момент распора за счет работы одного двигателя в двигательном, а другого в генераторном режиме [2].

Таким образом, можно сделать вывод, что устранения влияния люфта заключается в создании предварительного натяга в передачах, которое обеспечивается путем использования двух идентичных ветвей кинематической цепи. При этом движение в одном направлении передается по одной ветви кинематической цепи, а движение в обратном направлении по другой. Это позволяет уменьшить нагрузку ведущего двигателя, более равномерно загрузить механическую передачу и увеличить быстродействие при отработке возмущающих воздействий.

Выполнен анализ ряда вариантов построения систем двухдвигательного электропривода, решающего задачу уменьшения влияния зазора.

Литература

1. **Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г.** Управление электроприводами. — Л.: Энергоиздат, Ленинградское отделение, 1982.
2. **Борцов Ю. А., Соколовский Г. Г.** Автоматизированный электропривод с упругими связями. 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербург. отд-ние, 1992.

Т. И. Петров, асп.; рук. А. Р. Сафин, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ДЛЯ СТАНКОВ-КАЧАЛОК НЕФТИ

Станки-качалки нефти (СКН) являются основными элементами в российской нефтедобывающей отрасли в сфере малодебитных скважин. И повышение энергоэффективности данных станков является одной из перспективных задач в интересах нефтегазовой отрасли России.

Целью работы является сравнение традиционных асинхронных машин и синхронных, представленных вентильными двигателями с постоянными магнитами на роторе. Вентильные двигатели повышают характеристики и эффективность нефтедобывающего оборудования [1]. В частности, с одновременным введением интеллектуальных станций управления, будут получены следующие характеристики:

- увеличение объема продукции на 20–35%;
- экономия энергоресурсов на малодебитных скважинах на 30%;
- использование вентильного электропривода позволяет повысить КПД привода за счет возможности уменьшения установленной мощности электродвигателя;
- в контексте импортозамещения, создание новой серии российских высокоэффективных вентильных электроприводов позволит значительно сократить импорт данного вида продукции.

Однако, первичные затраты на приобретение оборудования довольно высоки. По этой причине необходимо определить значение экономии электроэнергии при замене асинхронных двигателей на синхронные, и определить чистый дисконтированный доход от этого проекта. Для более точного сравнения, будут использоваться машины разных мощностей и производителей.

В качестве площадки для сравнения характеристик различных типов электроприводов было выбрано программное обеспечение моделирования физических явлений COMSOL Multiphysics® with Matlab. И на данный момент прорабатывается алгоритм выбора типов электроприводов СКН для сравнительного анализа, с последующим определением энергоэффективности каждого привода.

Литература

1. **Артыкаева Э. М., Генин В. С., Нестерин В. А.** Перспективы повышения энергоэффективности нефтедобывающих штанговых насосных установок // *Электротехника*, 2011, № 10, С. 2–7.
2. **Копылов И. П.** Проектирование электрических машин. М.: Энергоатомиздат, 1993.

*Н. А. Филлипов, Д. С. Шеманаев, Т. Д. Коваленко, студенты;
рук. М. С. Куленко, к.т.н., доцент (ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА В КАНАЛЕ КОМПЕНСАЦИИ ВОЗМУЩЕНИЙ

При разработке электромеханических систем с повышенными требованиями к показателям качества управления движением становятся актуальными вопросы исследования возможности применения различных алгоритмов адаптации к изменениям параметров и внешних воздействий.

На примере типовой электромеханической системы выполнено исследование решений вопросов адаптации к изменениям момента статической нагрузки. На основе анализа современных систем электропривода с адаптивным управлением и проведенного исследования чувствительности системы к внешним возмущениям выполнено исследование адаптивной системы управления с наблюдающим устройством, построенного на основе нечеткой логики.

Наличие нелинейностей в электроприводе существенно затрудняет формирование адаптивного алгоритма управления на основе аналитических зависимостей. Одним из возможных вариантов построения адаптивных систем в этом случае является реализация системы на основе нечеткой логики с помощью адаптивного фаззи-наблюдателя [1].

Разработана математическая модель адаптивной системы с фаззи-алгоритмом, позволяющая исследовать возможность формирования дополнительного движения системы, направленного на компенсацию нежелательных отклонений выходной координаты от заданной траектории, при воздействии на систему внешних возмущений.

Рассмотрены методы настройки поведения нечеткого алгоритма по двум входам: по величине сигнала отклонения и его производной. В качестве цели регулирования задавались минимальное время отработки возмущения по каналу момента нагрузки и обеспечение статической точности регулирования.

Выполнены исследования поведения системы с нечетким алгоритмом при монотонных, периодических и случайных воздействиях по каналу момента нагрузки.

Установлено, что применение нечетких алгоритмов в ограниченном диапазоне изменений момента нагрузки позволяет обеспечить компенсацию отклонений характеристик системы.

Литература

1. **Терехов В. М.** Системы управления электроприводов. М.: Издательский центр «Академия», 2006.

*Р. Е. Платонов, студент;
рук. О. И. Осипов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АСИНХРОННОГО ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В наибольшей степени разработаны методы и технические средства диагностирования электроприводов постоянного тока [1, 2]. Для электроприводов переменного тока, необходима не только оценка технической возможности их диагностирования известными методами и средствами, но и разработка новых, наиболее совершенных и приспособленных к эксплуатационным условиям способов и средств их диагностирования.

Отличительной чертой асинхронного привода, как объекта диагностирования, является его техническая сложность [1]. В составе АЭП множество элементов с резко отличающимися принципами работы и взаимными связями в замкнутых системах управления [2]. Диагностирование подобной системы может быть успешно лишь на основе диагностирования сначала отдельных ее составляющих элементов и лишь затем и всей системы их объединяющей.

Работа направлена на поиск и совершенствование методов и средств технического диагностирования элементов и систем управления асинхронного частотно-регулируемого электропривода переменного тока. При этом ставятся следующие задачи:

- Разработка математической модели, методов и алгоритмов диагностирования асинхронного электродвигателя, как комбинационного объекта диагностирования;
- Разработка технических средств и устройств диагностирования промышленного электропривода переменного тока;
- Экспериментальное исследование предложенных методов и алгоритмов диагностирования в промышленных приводах.

Теоретические исследования предстоит проводить с использованием теории электрических цепей, операторного метода, аппарата булевой алгебры, передаточных функций, частотных характеристик, функций чувствительностей и методов математического моделирования. Достоверность научных положений и выводов планируется подтвердить экспериментальными исследованиями на лабораторных стендах и промышленных электроприводах при их наладке и эксплуатации.

Литература

1. **Мозгалевский А. В., Гаскаров Д. В.** Техническая диагностика (Непрерывные объекты). М.: Высшая школа, 1975. 207 с.
2. **Осипов О. И., Усынин Ю. С.** Техническая диагностика автоматизированных электроприводов. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 160 с.

*В. С. Подзорова, студ.; Н. Н. Подзоров, асп.;
рук. А. С. Анучин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

УЛУЧШЕНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ СКОРОСТИ ИНКРЕМЕНТАЛЬНОГО ДАТЧИКА ПОЛОЖЕНИЯ

В системах управления электроприводом все чаще требуется информация о текущей угловой скорости и положении вала двигателя. В электроприводах, работающих в широком диапазоне регулирования скорости и требующих высокую стабильность и точность скорости, используется инкрементальный датчик положения. По поступающим с датчика импульсам, с каналов А и В, рассчитывается скорость.

Существуют несколько методов расчета скорости инкрементального датчика: периодический метод, частотный метод, метод на основе фазовой автоподстройки частоты [1]. Но у каждого метода есть свои недостатки.

В частотном методе измеряется количество импульсов поступающих с каналов А и В датчика за интервал времени, выбранный программистом. Измеренное количество импульсов пропорционально текущей скорости электропривода. Недостаток заключается в том, что точность рассчитанной скорости сильно зависит от частоты импульсов датчика [2].

В периодическом методе измеряется время, в течение которого приходит заданное количество импульсов. Время измеряется с помощью таймера микропроцессора, поэтому на высоких скоростях уменьшается точность измерения скорости из-за эффекта квантования по времени.

В данной работе рассматривается улучшенный метод расчета скорости на основе периодического метода. В нем используются результаты оценки скорости периодического метода, которые обрабатываются между двумя опросами регулятора скорости для получения более точного результата измерения скорости. Метод настроен под изменяющееся количество оценок скорости между опросами регулятора скорости. Таким образом метод дает возможность рассчитать производную скорости по времени для предсказания значения скорости вначале следующего опроса регулятором скорости результата измерения, и при этом позволяет учесть время задержки на опрос регулятора.

Литература

1. **A. Anuchin, A. Dianov, D. Shpak, V. Astakhova, K. Fedorova.** “Speed estimation algorithm with specified bandwidth for incremental position encoder” in Proc. 17th Int. Conf. on Mechatronics — Mechatronika (ME), 2016.
2. **C. A. Negrea, I. I. Incze, M. Imecs, A. V. Pop; C. Szabo.** “An improved speed identification method using incremental encoder in electric drives,” in Proc. of IEEE Int. Conf. on Automation Quality and Testing Robotics (AQTR), 2012.

*Н. Н. Подзоров, аспирант; В. С. Подзорова, студент;
рук. М. Г. Бычков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Одним из важнейших этапов развития производства является выбор между модернизацией элементов старого оборудования или покупкой нового. Модернизация имеющегося оборудования требует меньших финансовых затрат и дает персоналу предприятия реализовать возможности его полного обслуживания без сторонних специалистов, проведения доработок для дальнейших улучшений в технологическом процессе и создания человеко-машинного интерфейса, основываясь на пожеланиях опытных операторов. Настоящая работа посвящена анализу максимального повышения производительности и диагностики механики полиграфической технологической установки посредством электропривода на примере станка СН-400 горячего тиснения фольгой.

На первом этапе модернизации все электрооборудование станка было заменено на новое, так как старое выработало свой гарантированный срок эксплуатации и требовало замены. Новое оборудование фирмы Yaskawa [1] подобрано по номинальным параметрам старого, а также произведена доработка механики станка. В результате было получено следующее:

- Повышена производительность в 3 раза путем оптимизации движения электроприводов;
- Уменьшен уровень шума от станка путем замены одного пневматического привода электрическим;
- Введены опционные функции нанесения многоцветного изображения и изображения на торец заготовки;
- Повышена безопасность для операторов установки.

Для анализа производительности установки разработана ее компьютерная модель в среде MATLAB/Simulink. Для наибольшего приближения к реальному оборудованию в модель введены известные на данный момент механические помехи. По результатам моделирования произведена оптимизация цикла движения механизмов установки, получены оценки максимальной производительности и способов ее дальнейшего повышения.

Литература

1. User's manual setup rotation motor [Электронный ресурс]: Published in Japan January 2013 07-4. URL: <http://www.cospa.ru/catalog/sigma-5-obshchaya-dokumentatsiya/yaskawa-sigma-5-obshchaya-dokumentatsiya/?brand=49> (дата обращения: 10.09.2017)

*Е. К. Самыгина, аспирант;
рук. Л. Н. Рассудов, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ», Москва)*

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ СЕРВОПРИВОДОМ В РЕЖИМЕ ОСЛАБЛЕНИЯ ПОЛЯ

Сервоприводы на базе синхронных электрических машин с постоянными магнитами (СМПМ) широко используются в прецизионном машиностроении. [1]. Постоянно возрастающие требования к производительности машиностроительного оборудования ставят перед разработчиками задачу ее повышения с минимальными капитальными затратами и не в ущерб точности и энергоэффективности. Одним из решений этой задачи может стать увеличение скоростного диапазона за счет совершенствования алгоритмов управления сервопривода и реализации ослабления поля (ОП) [2, 3].

Существует множество подходов к реализации ОП для СМПМ. Среди них наибольшей энергоэффективностью обладают методы, основанные на статических [4] или динамических [5, 6] моделях электропривода. В работе рассматриваются достоинства и недостатки этих подходов с точки зрения точностных показателей и энергоэффективности сервопривода и предлагается новый алгоритм управления, эффективный в случае нежестких предельных характеристик сервопривода.

Ожидается, что новые алгоритмы позволят увеличить производительность сервоприводов до 10–20% в зависимости от свойств конкретного оборудования.

Литература

1. **Балковой А. П., Цаценкин В. К.** Прецизионный электропривод с вентильным двигателем. Москва: Издательский дом МЭИ, 2010 — 328 с.
2. **Рассудов Л. Н.** Разработка и исследование методов улучшения точности и динамики прямого сервопривода. Актуальные проблемы современной науки, техники и образования, Магнитогорск, 2013, № 71, Т. 2.
3. **Балковой А. П., Рассудов Л. Н.** Система управления прямого прецизионного электропривода. Диссертация на соискание ученой степени кандидата наук, Москва, 2016
4. **Zhu Z. Q., Shi Y. F. и Howe D.** Influence of DSP controller on performance of permanent magnet brushless AC drive in flux-weakening mode, Journal of Zhejiang University Science, 2005 No 6A(2).
5. **Grčar B., Cafuta P. and Kumin L.** Exact Tracking by Dynamic Field-Weakened PMAC Servodrive, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 16, No. 1, March 2001
6. **Rassudov L. N., Balkovoi A. P.** Dynamic Model Exact Tracking Control of a Permanent Magnet Synchronous Motor, International Siberian Conference on Control and Communications, Omsk, May 2015.

*Д. С. Содонов, студент;
рук. Ю. М. Сафонов, к.т.н., профессор. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ВЛИЯНИЕ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ В СИСТЕМЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ — СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Увеличение числа нагрузок нелинейного характера приводит к повышенным напряжениям в системе, резонансам между индуктивной и емкостной нагрузкам, несимметрии напряжения и тока по фазам, что сказывается на качестве электроэнергии. Все это приводит к выходу из строя конденсаторов, подключенных к сети, перегреву трансформаторов и двигателей, ложным срабатываниям релейных защит.

Питающая сеть, в данной ситуации, имеет соизмеримую мощность с преобразователем частоты, который вносит в нее искажения. Для повышения качества электрической сети возможно применение пассивных или активных фильтров высших гармоник. Активные фильтры высших гармоник генерируют гармонические токи, необходимые для питания нелинейных нагрузок таким образом, чтобы синусоида сохраняла максимально правильную форму [1]. Они применимы для широкого спектра частот, в отличие от пассивных фильтров, которые проектируются только для гармоник определенной частоты.

В работе рассматривается возможность выбора параметров активного фильтра на стороне сети для различной структуры силовой схемы и системы управления в соответствии с технологическими и техническими требованиями. Рассматривается математическая модель системы преобразователь частоты — синхронный двигатель с применением на входе активного фильтра [2].

Приводится анализ влияния преобразователя частоты с активным фильтром на питающую сеть [3].

Литература

1. **Карв Ш.** Прикладное руководство по качеству электроэнергии. Ж. Энергосбережение, 2004.
2. **Герман-Галкин С. Г.** Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие. — СПб.: КОРОНА принт, 2001. — 320 с.
3. **Ломакина Л. С., Садиков Д. Г., Титов В. Г.** Энергосберегающий регулируемый электропривод газоперекачивающего агрегата // Электротехника и электроэнергетика. — 2014. с. 84–91.

М. А. Соломаничев, соиск.;
рук. П. В. Вилков, к. т. н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

О СТАБИЛИЗАЦИИ ПЛОТНОСТИ НАМОТКИ В РУЛОН

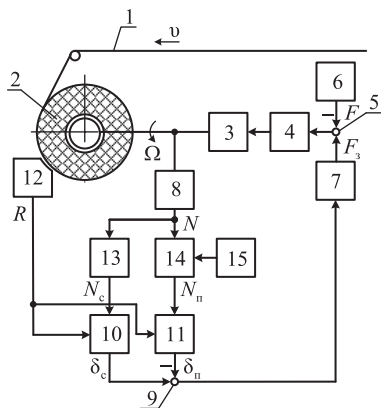


Рис. 1. Устройство для намотки ткани в рулон

В отделочном производстве текстильной промышленности при намотке ткани в рулон необходимо регулировать ее натяжение. В качестве решения предложено устройство [1] (рис. 1), содержащее электропривод рулона и обеспечивающее повышение точности стабилизации плотности намотки.

В процессе намотки ткани 1 в рулон 2 со скоростью v на выходе импульсного датчика 8 частоты вращения рулона формируется количество импульсов N (соответствует частоте вращения рулона), преобразуемое счетчиком 13 числа оборотов рулона в число N_c (количество намотанных витков). Далее в блоке деления 10 рассчитывается

средняя толщина ткани δ_c внутри рулона на основе информации о его радиусе R (с выхода датчика 12 радиуса рулона) и числе витков N_c .

В начале намотки в реверсивный счетчик 14 числа оборотов рулона записывается число витков на его периферии $N_n = 10 \div 20$ (задается в блоке 15), где практически отсутствует деформация ткани под действием наматываемых витков. После обнуления счетчика 14 в блоке деления 11 на основе информации, снимаемой с датчика 12, и числа витков N_n определяется толщина ткани δ_n на периферии рулона (является задающей и вычисляется один раз). При этом на выходе узла сравнения 9 формируется разность $\delta_c - \delta_n$, корректирующая сигнал F_3 на выходе блока 7 задания натяжения ткани F , измеряемый датчиком натяжения 6.

Сигнал в виде разности $F_3 - F$ с выхода узла сравнения 5 подается через усилитель мощности 4 на электродвигатель 3, изменяющий частоту вращения рулона Ω и, следовательно, натяжение ткани так, чтобы выполнялось условие $\delta_c = \delta_n$. Таким образом указанное устройство обеспечивает повышение точности стабилизации плотности намотки ткани в рулон.

Литература

1. Пат. 2608683 Российская Федерация, МПК В 65Н 77/00, В 65Н 18/00. Устройство для намотки ткани в рулон / В. Ф. Глазунов, М. А. Соломаничев, А. А. Репин; заявитель и патентообладатель Иван. гос. энерг. ун-т. № 2015122910; заявл. 15.06.15; опубл. 23.01.17, Бюл. № 3.

*М. А. Толстой, студент;
рук. О. И. Осипов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Все чаще в мощных регулируемых электроприводах переменного тока применяются преобразователи частоты (ПЧ) на основе многоуровневых инверторов. Эти преобразователи хорошо зарекомендовали себя в установках добычи нефти и газа, в системах электроснабжения и распределения электроэнергии, на водном и железнодорожном транспорте, на коммунальных предприятиях и других объектах, где эксплуатируются мощные электроприводы среднего напряжения.

Перед разработчиком стоят следующие основные задачи:

- выбор структуры силовой части ПЧ [1];
- разработка системы управления, алгоритма работы и математической модели высоковольтного электропривода, учитывая реальную конфигурацию силовой схемы каскадного преобразователя, параметры трансформатора, силовых ячеек и нагрузки.
- анализ и оценка энергоэффективности системы и обоснование целесообразности применения в ней частотно-регулируемого электропривода [2];

Настоящая работа посвящена разработке и исследованию высоковольтного электропривода насосной станции, включая создание математической модели электропривода в среде Matlab Simulink [3], регулирование частоты вращения, переключение его питания с ПЧ на питающую сеть.

Рассматриваются вопросы выбора структуры силовых цепей и их особенности, программная и практическая реализация электропривода, рассмотрено влияние преобразователя частоты на питающую сеть и электродвигатель.

Литература

1. **Шавелкин А. А.** Вариант схемы многоуровневого преобразователя частоты для электропривода и электроэнергетики. Силовая электроника. 1, 2008, с. 43–46.
2. **Ломакина Л. С., Садиков Д. Г., Титов В. Г.** Энергосберегающий регулируемый электропривод газоперекачивающего агрегата // Электротехника и электроэнергетика. — 2014. с. 84–91.
3. **Герман-Галкин С. Г.** Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие. — СПб.: КОРОНА принт, 2001. — 320 с.

*М. Е. Щербаков, М. Н. Рожков, студенты;
Д. С. Зайцев, соискатель; рук. М. С. Куленко, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДИФИКАЦИЯ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ПРИ НЕЧЕТКОМ УПРАВЛЕНИИ НАТЯЖЕНИЕМ

Выполнено исследование применения нечетких регуляторов в системах автоматизированного электропривода для управления натяжением наматываемого в рулон гибкого материала в условиях недостаточной информации об объекте управления и упрощенной математической модели процесса намотки.

Использован двухканальный тип фаззи-регулятора натяжения с дифференциальной и пропорциональной составляющими сигнала ошибки, которые подвергаются фаззификации в диапазоне ограничений на реальные физические координаты, с формированием правил логического вывода на основе исследования поведения модели объекта, построенной на основе метода механических аналогий.

Установлено наличие зависимости статических и динамических характеристик регулирования от диапазона изменения фаззифицируемых переменных и вида функций принадлежности в середине и на границах диапазона. Так, динамические характеристики во многом определяются видом функций принадлежности, используемых при фаззификации входных и выходных координат. При этом упрощенное их представление в виде t -, L - и S -функций [1] вносит ошибку относительно желаемого поведения системы, а усложнение функций до сигмоидного класса приводит к усложнению вычислительной части алгоритма логического вывода. Кроме того, отсутствует обоснование выбора того или иного класса функций для получения заданных показателей.

Для достижения заданных динамических показателей предлагается использовать на границах диапазона фаззификации модифицированные стандартные L - и S -функции принадлежности, полученные с помощью операции растяжения. Для обеспечения требуемых статических показателей показана целесообразность применения в средней части диапазона концентрированных t -функций, максимумы термов которых смещены в сторону равновесного состояния системы.

Выполненные исследования поведения системы с нечетким регулятором натяжения, построенного на основе такого подхода к фаззификации, показали возможность достижения требуемых показателей качества.

Литература

1. **Яхьяева Г. Э.** Нечеткие множества и нейронные сети. М.: Бином, Лаборатория знаний, 2006.

*И. Г. Васильев, В. С. Подзорова, студенты;
рук. М. Г. Бычков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

РАЗРАБОТКА ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ СТАНКА ГОРЯЧЕГО ТИСНЕНИЯ ФОЛЬГОЙ

Станок СН-400 — станок-автомат, предназначенный для нанесения печати фольгой любого цвета на колпачки различных емкостей. Система управления станком горячего тиснения состоит из:

- шести электроприводов;
- контроллера управления движением YASKAWA;
- панельного контроллера ESA серии EW;
- модулей входов-выходов и другой периферии.

Панельный контроллер ESA объединяет в одном корпусе программируемый контроллер и панель оператора, что позволяет существенно уменьшить габариты системы управления, увеличить скорость передачи данных от ЦПУ ПЛК в среду визуализации, сократить монтажные работы, упростить обслуживание и снизить стоимость системы. Обмен данными между контроллерами ESA и YASKAWA происходит по Modbus RTU и RS232.

Для взаимодействия между станком и оператором используется человеко-машинный интерфейс (Human-Machine Interface, HMI) [1], который тесно связан с такими понятиями, как эргономика, интуитивное восприятие и простота использования.

При создании HMI станка использовано программное обеспечение Crew Editor, при помощи которого созданы и оформлены рабочие окна в панели оператора [2]. Панель оператора имеет многоуровневый доступ к рабочим окнам, что позволяет защитить систему управления от несанкционированного доступа. Разработанный HMI станка позволяет:

- Отслеживать необходимую информацию об электроприводах;
- Предупреждать об авариях станка;
- Выводить историю аварий на станке;
- Проводить пуско-наладку и калибровку станков.
- Проводить подстройку станка во время его работы и др.

Литература

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/Человеко-машинный_интерфейс
2. <http://www.cospa.ru/catalog/panelnye-kontrollery/esa-elettronica-ew100ab-ac-ew600/>

*Е. А. Власьевнина, студент;
рук. О. И. Осипов, д. т. н., профессор (НИУ «МЭИ», Москва)*

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ДЛЯ СТЕНДА ИСПЫТАНИЙ ТРАКТОРНЫХ ШИН

Для испытаний тракторных шин и их износа используются специальные лабораторные стенды с имитацией реальных условий эксплуатации шин [1]. Они позволяют оценить их надежность и выявить возможность увеличения срока эксплуатации шин. Наиболее распространенные стенды включают в себя неподвижную платформу, беговой барабан, гидроцилиндры, рекуператор, устройства прижима, электропривод барабана, механизмы вращения шин, персональный компьютер. Регулируемый электропривод барабана, как правило, реализуется на основе машин постоянного тока с управляемым тиристорным преобразователем. Кроме известных недостатков подобных приводов они имеют и высокое потребление электроэнергии, обусловленное потерями на преодоление усилий в механизмах вращения шин.

Особенностью предлагаемого стенда является не только замена привода барабана на асинхронный частотно-регулируемый, но и за счет двух асинхронных (также частотно-регулируемых) приводов механизмов вращения шин с возможностью рекуперации их энергии в общую сеть питания обеспечить суммарное потребление энергии, затрачиваемое лишь на преодоление потерь в электроприводе и механизмах стенда. За счет приводов механизмов вращения двух шин одновременно увеличивается и производительность испытаний стенда.

Проведен анализ технических возможностей асинхронных частотно-регулируемых электроприводов барабана и механизмов вращения шин. Определены мощности элементов их силовой части, построены энергетические диаграммы потоков и потерь мощностей в приводах, а также предложены структуры их управления [2].

Литература

1. **Гребнев В. П.** Тракторы и автомобили. Теория и эксплуатационные свойства: учебное пособие / В. П. Гребнев, О. И. Поливаев, А. В. Ворохобин; под общ. ред. О. И. Поливаева. — 2-е изд., стер. — М.: КНОРУС, 2016. — 260 с.
2. **Анучин А. С.** Системы управления электроприводов: учебник для вузов, — М.: «Издательский дом «МЭИ», 2015. — 373 с.

*А. О. Битько, студент;
рук. Л. Н. Рассудов, к.т.н. асс. (НИУ «МЭИ», Москва)*

МОДУЛЬНЫЙ ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ НАЛАДКИ КОМПОНЕНТОВ МНОГООСЕВЫХ СЕРВОПРИВОДОВ

Современные электроприводы нуждаются в высокоразвитом интерфейсе пользователя, к которому предъявляются высокие требования по функциональности, удобству, безопасности.

На кафедре Автоматизированного электропривода НИУ «МЭИ» ведутся разработки широкого спектра электротехнического оборудования для прецизионных применений [1,2], требующего наладочного интерфейса: блоки управления, одно- и многоосевые мехатронные модули [3], системы измерения, активные выпрямители [4] и др. Для быстрой адаптации персонала к новым типам устройств, а также для обеспечения возможности оперативного расширения функционала интерфейса необходима унификации интерфейсов пользователя.

Настоящая работа посвящена разработке универсального графического интерфейса пользователя, позволяющего в зависимости от выбранного устройства подключать соответствующую динамическую библиотеку функций. Это обеспечивает возможность работы пользователю с различными устройствами, не создавая отдельный интерфейс для каждого из них, причем не зависимо от интерфейса и протокола обмена данных [5].

Литература

1. **Балковой А. П., Рассудов Л. Н., Сливинская Г. А., Толстых О. А., Тяпкин М. Г., Цаценкин В. К.** Разработки прецизионной мехатроники в ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ». Электротехника. — 2015. — № 1. — С. 9–12.
2. **Балковой А. П., Рассудов Л. Н., Сливинская Г. А., Толстых О. А., Цаценкин В. К.** Новые разработки линейного сервопривода на кафедре АЭП НИУ «МЭИ». Труды VIII международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014. Саранск, 2014. Т. 2 С 13–17.
3. **Балковой А. П., Сливинская Г. А.** Прямые прецизионные электроприводы — опыт разработки и применения. Приводная техника. 2006. № 3. С. 46–53.
4. **Тяпкин М. Г., Тяпкин Г. М.** Системы силового питания мощных сервоприводов. Тез. докладов VIII Международная (XIX Всероссийская) конференция по автоматизированному электроприводу АЭП — 2014: С 389.
5. **Волков И. М.** Разработка скоростного интерфейса связи для блока управления. Тез. докладов XXII Междунар. н.-т. конф. студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электроэнергетика и электротехника», МЭИ 2016 г.: т. 2, С. 101.

*М. П. Веретенникова, А. В. Воронов, студенты;
рук. С. К. Лебедев, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

НАСТРОЙКА ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ ПОЛОЖЕНИЯ НА ДИНАМИКУ БЕССЕЛЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Электромехатронные модули позиционирования (ЭММП) на базе современных электроприводов переменного тока с преобразователями частоты находят обширные области применения от ключевых отраслей промышленности (энергетика, машиностроение) до трубопроводной арматуры в жилищно-коммунальном хозяйстве. Наиболее высокие требования к характеристикам ЭММП предъявляются в станкостроении и робототехнике. Поэтому совершенствование таких систем является весьма актуальной задачей для специалистов в области электропривода.

В основу синтеза систем позиционирования положена настройка параметров модифицированных ПИД-регуляторов положения на динамику, определяемую параметрами фильтров Бесселя. С этой целью выполнено приведение полиномов Бесселя до 10 порядка, нормированных по времени группового запаздывания [1], к виду, обеспечивающему достижение требуемой от электромехатронного модуля полосы пропускания. Результаты подтверждены анализом временных и частотных характеристик, расчет которых выполнен с использованием символьных преобразований в среде программы *MathCAD*.

Системы векторного управления переменного тока формируют в ЭММП замкнутый контур электромагнитного момента, инерционностью которого при синтезе внешних контуров в силу его малости можно пренебречь [2]. Предлагается методика настройки модифицированных ПИД-регуляторов для статических и астатических систем позиционирования на полиномы Бесселя при заданной полосе пропускания и учете реальной инерционности контура момента. Полученные результаты моделирования позволяют говорить не только о достижении, но и о некотором превышении заданной полосы пропускания.

Предполагается реализация ЭММП с использованием микроконтроллеров класса *motor control*.

Литература

1. **Мошиц Г., Хорн П.** Проектирование активных фильтров. — М.: Мир, 1984. — 320 с.
2. **Лебедев С. К., Колганов А. Р., Гнездов Н. Е.** Электромехатронные системы позиционирования с наблюдателями нагрузки / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». — Иваново, 2016. — 340 с.

*В. А. Перекатнов, студент;
рук. О. И. Осипов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ЭЛЕКТРОПРИВОД ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Шахтные подъемные установки (ШПУ) относятся к числу основных механизмов горнодобывающей промышленности. Выбор типа установки зависит как от предъявляемых к ней технологических требований, так и от различных внешних факторов, обусловленных местом расположения установки, климатических условий и т.п. Основным назначением ШПУ является выдача на поверхность добываемого угля, быстрый и безопасный пуск и подъем людей, транспортирование крепежного леса, горно-шахтного оборудования и материалов [1].

От выбора электропривода ШПУ зависит их надежность, техническая и экономическая эффективность этих установок. Для ШПУ наиболее распространен электропривод переменного тока. В свою очередь для электропривода переменного тока продолжают эксплуатироваться асинхронные двигатели с фазным ротором (АД ФР). При простоте и невысокой стоимости оборудования, пусконаладочных работ и обслуживания электропривод с АД ФР имеет ряд недостатков: ограничение по мощности из-за силовой коммутационной аппаратуры для пуска и регулирования, низкий коэффициент мощности, заметные потери энергии в роторной цепи. Именно эти недостатки предопределили необходимость применения частотно — регулируемого электропривода (ЧРЭП) [2].

В работе проведен сравнительный анализ различных типов электропривода для ШПУ, способных соответствовать технологическим требованиям, при этом особое внимание обращено на использование электропривода переменного тока с асинхронным и синхронным двигателем и их системам управления.

Литература

1. **Белов М. П.** Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 576 с.
2. **Дацовский Л. Х.** Безредукторный электропривод подъемных машин. М.: АО «Русэлпром», 2012.

*Д. В. Романов, студент;
рук. С. К. Лебедев, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

МОДАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В РЕГУЛЯТОРАХ ПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Модальное управление применяют при формировании требуемой динамики переходных процессов при наличии информации о векторе состояния объекта [1]. Современные электромехатронные модули (ЭММ) переменного тока используют преобразователи частоты и системы векторного управления, формирующие малоинерционные контуры регулирования электромагнитного момента двигателя [2]. ЭММ позиционирования оснащены цифровыми датчиками положения и регуляторами положения. В наибольшей степени задачам систем позиционирования при использовании в станкостроении и робототехнике отвечает выбор в качестве эталонной динамики, определяемой характеристическими полиномами Бесселя [3].

Авторы предлагают методику настройки параметров модифицированных ПИД регуляторов положения для статических и астатических систем позиционирования, основанную на применении принципов модального управления для «немодальных» регуляторов.

На основе структурных схем разработаны уравнения состояния и выхода ЭММ позиционирования с П(Д), ПИ(Д), ПИ2И(Д) регуляторов с учетом конечной инерционности замкнутого контура электромагнитного момента. Полученные матрицы параметров позволили при использовании символьных преобразований и методов модального управления в программе *MathCAD* по заданным параметрам ЭММ и полосе пропускания системы получить выражения для расчета параметров регуляторов и входных фильтров, обеспечивающих динамику Бесселя.

Используя символьные преобразования в *MathCAD*, получены временные и частотные характеристики ЭММ позиционирования, включая характеристики времени группового запаздывания. Исследования корневых годографов при вариации инерционных свойств механики ЭММ и фиксированной настройки регуляторов позволяет утверждать о робастности систем позиционирования.

Литература

1. **Кузовков Н. Т.** Модальное управление и наблюдающие устройства. М.: Машиностроение, 1986. — 184 с.
2. **Виноградов А. Б.** Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». — Иваново, 2008. — 320 с.
3. **Лебедев С. К., Колганов А. Р., Гнездов Н. Е.** Электромехатронные системы позиционирования с наблюдателями нагрузки / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». — Иваново, 2016. — 340 с.

А. Л. Ромашков, асп.;
рук. А. Н. Ладыгин, к.т.н., профессор (НИУ «МЭИ», Москва)

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ СИСТЕМ СИНХРОНИЗАЦИИ СЕРВОПРИВОДОВ

Применение сервоприводов в различных технологических установках неуклонно расширяется. Как правило, такие установки содержат по несколько осей, приводимых в движение соответствующими сервоприводами. При этом, как правило, к системе управления этих приводов предъявляется требование обеспечить синхронизацию движения двух или более осей [1]. В подобных ситуациях актуальным является вопрос выбора структуры системы управления, обеспечивающей требуемую точность синхронизации.

В данном докладе представлены результаты исследования показателей точности для различных структур систем синхронизации в сервоприводах с двумя осями движения.

Рассмотрены структуры систем управления, предназначенных как для синхронизации скоростей, так и синхронизации перемещений.

Для сервоприводов с синхронизацией скоростей исследовались показатели двух основных вариантов структуры системы управления:

- структура без использования датчиков обратной связи по скорости;
- структура, в которой применяются датчики обратной связи по скорости.

При исследовании сервоприводов с синхронизацией перемещения двух осей движения рассматривалась структура управления с различными датчиками и с применением общего контроллера перемещений.

Исследования проводились как с применением компьютерной модели, так и с использованием физических макетов в условиях лабораторных экспериментов.

Представленные результаты исследований показывают, что в зависимости от применяемой структуры показатели точности синхронизации скоростей и перемещений для каждой из систем сервоприводов могут отличаться на порядок. Показана степень влияния типа применяемых датчиков, разрядность АЦП и ЦАП преобразователей сервопривода и быстродействия контроллера на точность синхронизации.

Литература

1. **Бычков М. Г., Ладыгин А. Н.** Современный сервопривод — классификация и терминология // Сервопривод: Доклады научно-методического семинара. М.: Издательство МЭИ, 2013.

А. Ю. Бодрягин, студ. ;
 рук. А. Н. Голубев, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ДЛЯ СВАРОЧНЫХ РОБОТОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

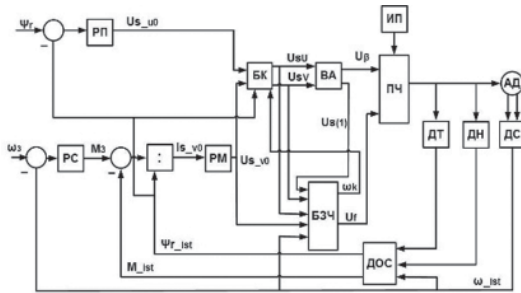


Рис. 1. Функциональная схема электропривода

Современные приводы робототехнологических комплексов (РТК) для сварки должны обеспечивать высокую статическую и динамическую точность.

Указанные требования обеспечивают системы векторного управления, которые реализуют раздельное управление потоком сцеплением, электро-

магнитным моментом и скоростью вращения асинхронного электродвигателя (АД). Реализация векторной системы такой САУ представлена на рис. 1 [1].

Особенность схемы — отказ от прямых и обратных координатных преобразований электромагнитных переменных двигателя. Выходными сигналами САУ является задание на амплитуду и частоту питающего напряжения, что позволяет использовать АД с произвольным числом фаз ($m \geq 3$).

Функциональная схема электропривода включает 2 канала регулирования.

Верхний канал задания амплитуды напряжения статора представляет собой замкнутый контур регулирования потокоцепления ротора. Второй (нижний) канал включает в себя два замкнутых контура: внешний контур регулирования скорости АД и внутренний контур регулирования электромагнитного момента.

Независимое регулирование выбранных переменных осуществляется в САУ как за счет БК, так и за счет соответствующей развертки частоты во времени.

Применение такой САУ в сварочных робототехнологических комплексах, ведет к обеспечению высокой статической и динамической точности.

Литература

1. Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XIX Бенардосовские чтения): Электроэнергетика. Современные инструменты менеджмента: международ. сб. науч. тр. Иваново. ИГЭУ. — 2017. — Вып. 19. — С. 12–13.

Секция 26

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Председатель секции — д.т.н., профессор В.П. Рубцов
Секретарь секции — к.т.н. доцент М.А. Федин

С. В. Ахметьянов, А. О. Кулешов, аспиранты;
рук. М. А. Федин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ДЛЯ ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ С ПРОВОДЯЩИМ ФЕРРОМАГНИТНЫМ ТИГЛЕМ НЕБОЛЬШОЙ ЕМКОСТИ

Основными проблемами в области автоматизации процессов в индукционных тигельных печах (ИТП) с проводящим тиглем (ПТ) являются: контроль температуры расплава металла, поддержание заданной мощности во время плавки, ограничение выходного тока источника питания (ИП), автоматическое согласование параметров индуктора и ИП.

На основе расчета в пакете *ELCUT* и эксперимента произведена идентификация ИТП с ПТ. Получены структурная модель ИТП с ПТ и регулятора в среде *Matlab/Simulink* (рис. 1). Проведены исследования регуляторов с каналом регулирования частотой тока f и напряжением U , а также исследование регулятора с двумя каналами регулирования f и U . Использование последнего обусловлено тем, что необходимое ограничение тока ИП достигается повышением f , но высокие значения f негативно сказываются на коммутации ключей. Поэтому для ограничения тока транзисторов необходимо воздействовать не только на канал f , а еще и на канал U ИП [1].

Исследования для лабораторной установки (емкость 0,5 кг магния) показали, что использование системы регулирования мощности с двумя каналами регулирования позволяет, поддерживая максимальной заданную мощность и выполняя условия ограничения выходного тока ИП, уменьшить удельный расход электроэнергии в 4,5 раза (с 0,450 кВт·ч до 0,101 кВт·ч) по сравнению с регулято-



Рис. 1. Функциональная схема экспериментальной установки ИТП с ПТ

ром на базе автоподстройки частоты (АПЧ) и сократить время плавки в 3 раза (с 25 до 8 мин).

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (инициативный научный проект 8.9608.2017/БЧ).

Литература

1. **Федин М. А.** Выбор принципа регулирования и разработка систем управления индукционных тигельных печей с проводящим тиглем // Индукционный нагрев. — 2014. — № 1 (27). — С. 24–28.

С. В. Ахметьянов, А. О. Кулешов, аспиранты;
рук. М. А. Федин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ С ФЕРРОМАГНИТНЫМ ТИГЛЕМ

Индукционные тигельные печи (ИТП) с ферромагнитным тиглем (ФТ) применяются для выплавки высококачественных сплавов магния.

Сложность расчета печи состоит в том, что электрические характеристики загрузки изменяются в зависимости от температуры и напряженности магнитного поля. Для решения этой задачи разработана математическая модель на основе метода конечных элементов в пакете *ELCUT*. В ходе теоретического исследования установлено, что после достижения точки Кюри, когда тигель теряет свои магнитные свойства, и магний становится жидким, происходит снижение мощности тепловыделения в тигле при одинаковом токе индуктора I_1 и частоте f из-за резкого снижения активного сопротивления R системы «индуктор-загрузка». Это объясняется тем, что после точки Кюри глубина проникновения в проводящий тигель существенно увеличивается, и загрузка становится двухслойной [1].

В результате расчета получены зависимости R и индуктивности L зависящие от трех аргументов: температуры t , частоты f и тока индуктора I_1 . В качестве примера на рис. 1 показана двумерная зависимость R от f и t при $I_1=50$ А, в действительности имеем представленные при моделировании в среде *Matlab/Simulink* зависимости в виде трехмерных массивов, полученных для различных значений I_1 . С помощью них построена структурная модель, осуществлена идентификация ИТП с ФТ.

Адекватность данных проверена экспериментально, отличия результатов расчетов и экспериментов составляют не более 10%.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (инициативный научный проект 8.9608.2017/БЧ).

Литература

1. Федин М. А., Кувалдин А. Б., Кулешов А. О., Ахметьянов С. В. Расчет электрических характеристик индукционных тигельных печей с проводящим ферромагнитным тиглем с учетом двухслойности загрузки // Тр. междунар. конф. «Энерго- и ресурсосбережение — XXI век» / Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева. — Орел, 2017. — С. 109–112.

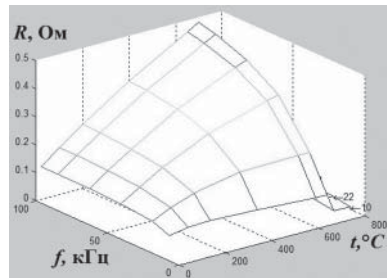


Рис. 1. Зависимость активного сопротивления R от температуры t и частоты f при токе $I_1=50$ А

О. А. Асина, асп.; рук. А. Н. Макаров, д.т.н., проф. (ТвГТУ, Тверь)

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ СЛОЯ ШЛАКА НА КПД ДУГ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

По разработанной методике расчета КПД дуг [1] появилась возможность анализировать влияние толщины слоя шлака на КПД дуг и расход электроэнергии в дуговых сталеплавильных печах (ДСП).

В [2] изложен аналитический метод определения средних угловых коэффициентов излучения (УКИ) дуг на ванну металла в ДСП, при котором ванна металла, разбиваются на элементарные площадки, для площадок определяют вначале локальные, затем, суммируя их, средние УКИ на ванну металла. Для ДСП-120 с параметрами мощность $P_d = 49,5$ МВт, $I_d = 110$ кА, $U_d = 450$ В, $l_d = 563$ мм, $h_{ш1} = 150$ мм, $h_{ш2} = 300$ мм, $h_{ш3} = 450$ мм, рассчитали средний угловой коэффициент излучения дуги на металл и КПД дуги: $\varphi_{дм} = 0,435$, $\eta_d = 0,462$. КПД дуги определили по формуле:

$$\eta_d = \frac{P_{пол}}{P_d} = \frac{0,02 \cdot 0,5 \cdot P_d + 0,06 \cdot P_d + 0,9 \cdot \varphi_{дм} \cdot P_d}{P_d} = 0,5 \cdot 0,02 + 0,06 + 0,9 \varphi_{дм}$$

Расчеты показали, что при высоте $h_{ш1} = 150$ мм длина дуги остается открытой на 73% и излучает свою мощность в окружающее пространство, при этом $\eta_d = 0,604$, при увеличении высоты шлака до $h_{ш3} = 450$ мм при которой $h_{ш}/l_d = 0,8$ КПД дуги увеличивается до $\eta_d = 0,861$. При $h_{ш2} = 300$ мм, $h_{ш}/l_d = 0,53$, $\eta_d = 0,741$. При отсутствии шлака $h_{ш} = 0$, $\eta_d = 0,462$. Сведем результаты расчетов в таблицу 1.

Табл. 1. Зависимость КПД дуги от высоты слоя шлака в дуговой сталеплавильной печи

l_d откр	$\varphi_{дм}$	$l_{ш}/l_d$	η_d
0,563	0,435	-	0,462
0,413	0,594	0,27	0,604
0,263	0,745	0,53	0,741
0,113	0,878	0,8	0,861

Из результатов расчетов следует, что с увеличением высоты слоя шлака КПД дуг увеличивается.

Литература

1. **Макаров А. Н.** Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установках: учеб. Пособие. СПб.: Издательство Лань, 2014.
2. **Макаров А. Н., Макаров Р. А.** Распределение потоков излучения дуг в дуговых сталеплавильных печах трехфазного и постоянного токов в период расплавления // Известия вузов. Черная металлургия. 1998. № 2.

*Д. А. Гапонова, студентка;
рук. А. В. Щербаков, д. т. н., проф. (НИУ МЭИ)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКИ АДДИТИВНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ*

Одной из наиболее перспективных технологий аддитивного формообразования является технология электронно-лучевой наплавки с подачей присадочной проволоки [1]. Важной задачей является разработка системы управления, однако для ее решения необходимо предварительно провести анализ процесса наплавки.

К основным проблемам этой технологии относятся, во-первых, неоднородность температурного поля в наплавляемом изделии, во-вторых, техническая сложность самого процесса. В процессе наплавки возникают возмущающие воздействия, такие как отклонение скорости подачи проволоки от заданной, смещение луча относительно проволоки, влияние зон повторного нагрева. Для решения данной проблемы необходим непосредственный контроль параметров наплавляемого валика. Для того чтобы контролировать температуру валика можно применить пирометры спектрального соотношения для определения локальных температур и видеокамеры ближнего инфракрасного диапазона (0,9–4 мкм) [2]. Эти приборы обеспечивают измерение параметров через пары металла, а результаты измерений отвечают необходимым требованиям. Однако, эти приборы отличаются высокой стоимостью, поэтому их применение в серийных установках затруднено.

Наиболее подходящим методом регулирования тока луча является импульсное регулирование. В этом случае напряжение смещения принимает только два значения - номинальное, которое соответствует номинальному току луча, и напряжение запирающего, при котором ток луча становится равным нулю. Для этой технологии скорость подачи проволоки составляет около 0,001–0,004 м/с. В качестве приводного двигателя рекомендуется использовать шаговый или серводвигатель.

* Работа выполняется в ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-79-20015)

Литература

1. **S. Stecker.** Electron beam layer manufacturing using scanning electron monitored loop control / Патент US 8,598,523 B2 / опубл. 3 декабря 2013 г.
2. **J.N. Zalameda, E.R. Burke et al.** Thermal imaging for assessment of electron-beam freeform fabrication (EBF3) additive manufacturing deposits // Proc. SPIE 8705, Thermosense: Thermal Infrared Applications XXXV, 87050M (May 22, 2013); doi:10.1117/12.2018233

Д. А. Гапонова, студентка;
рук. А. В. Щербаков, д. т. н., проф. (НИУ МЭИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧИ ПРИСАДОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ В УСТАНОВКЕ АДДИТИВНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ



Рис. 1. Механизм SSJ-18

Одной из наиболее перспективных технологий аддитивного формообразования является электронно-лучевая наплавка с подачей присадочной проволоки [1]. Одним из основных каналов управления является канал регулирования скорости подачи проволоки.

В настоящее время в НИУ МЭИ создан экспериментальный стенд на базе электронно-лучевой установки ЭЛА-15 И на которой установлен механизм подачи присадочной проволоки толкающего типа SSJ-18 [2] (рис. 1) с двумя приводными роликами и двигателем постоянного тока. Проволока диаметром

0,8 мм из стали 316L, установленная в кассету протягивается роликами через пружинный армированную трубку и сопло, установленное вблизи прохождения электронного пучка. При проведении первых экспериментов было установлено, что диапазон регулирования скорости подачи проволоки составляет 0,001–0,006 м/с, что соответствует скорости вращения двигателя близкой к минимальной. В связи с этим для обеспечения постоянства скорости подачи и требуемого момента на валу двигателя в указанном диапазоне скоростей необходимо проведение дополнительных исследований. Исследование предполагается проводить как на экспериментальном стенде, так и на модели составленной в среде Simulink. В процессе исследований будут рассмотрены связь управляющего сигнала с режимами работы источника питания двигателя, а также возмущающие воздействия, такие как проскальзывание проволоки или отклонение скорости от заданной, обусловленная электромеханической характеристикой привода.

* Работа выполняется в ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-79-20015)

Литература

1. S. Stecker. Electron beam layer manufacturing using scanning electron monitored loop control / Патент US 8,598,523 B2 / опубли. 3 декабря 2013 г.
2. [online] http://www.topreach.cn/en/ctt.php?cid=176&p_id=165.

*Д. А. Гапонова, А. С. Булгаков, студенты;
рук. В. П. Рубцов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С БЕСКОНТАКТНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ МОЩНОСТИ ВАКУУМНОЙ ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Материалами для нагревателей вакуумных печей сопротивления служат тугоплавкие металлы (вольфрам, молибден, тантал и т.д.) или углеродистые материалы (графит, композитные материалы на основе углерода).

Основной характеристикой материала нагревателя из тугоплавких металлов является зависимость удельного электрического сопротивления от температуры. Сопротивление нагревателей при нагреве и охлаждении печи меняется в 10–15 раз, а следовательно и ток меняется в 10–15 раз. Такой бросок тока негативно сказывается на сроке службы нагревателя печи. Традиционным способом ограничения тока является использование трансформатора со ступенчатым переключением обмоток [1].

Для решения этой проблемы вместо традиционного подхода предлагается использовать комбинированный способ управления мощностью нагревателя. Кроме регулятора мощности схема (рис. 1) содержит датчики температуры и тока, а также регулирующее устройство.

Данная схема была смоделированная в среде Mathlab Simulink. Были получены осциллограммы токов и напряжений и сигналов с датчика температуры.

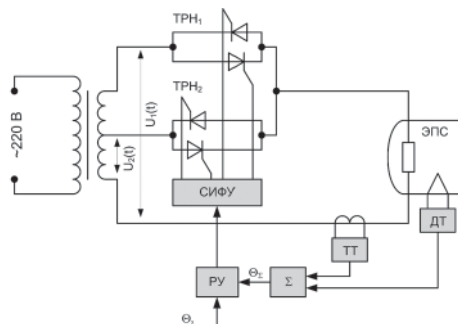


Рис. 1. Функциональная схема регулятора температуры вакуумной печи сопротивления

Литература

1. Рубцов В. П. и др. Влияние ограничения тока нагревателей на работу регуляторов температуры в высокотемпературных вакуумных печах сопротивления // Вестник МЭИ, 2012, № 2, с. 80–84.

*И. М. Генералов, А. О. Кулешов, асп.;
рук. -ли А. Б. Кувалдин, д.т.н., проф.;
М. А. Федин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СИСТЕМА РЕЛЕЙНО-ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТИРИСТОРНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ТОПОЛОГИЕЙ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

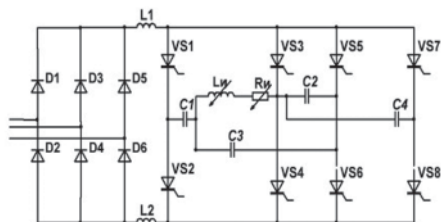


Рис. 1. Перестраиваемый ТПЧ

реактивной мощности компенсирующей конденсаторной батареей. ТПЧ позволяет управление режимами: частотное и позиционное (релейное). При этом напряжение питания инвертора ТПЧ не изменяется.

Релейное регулирование позволяет снизить потери в преобразовательной установке: тепловыделение в тиристорах инверторного моста и цепях ограничения du/dt и di/dt , при сохранении уровня активной мощности, выделяемой в нагрузке печи, при проведении всего технологического процесса в индукционной установке [1].

Для повышения управляемости индукционной установки в системе управления перестраиваемым ТПЧ при нерегулируемом напряжении питания и релейный регуляторы: регулятор угла записания тиристоров и трехпозиционный [2].

Благодаря частотному регулированию решается задача по повышению точности регулирования выходной мощности при сильно изменяющейся нагрузке и неизменном напряжении питания инверторного моста.

Работа выполнена при поддержке министерства образования и науки российской Федерации (инициативный научный проект 8.9608.201/БЧ).

Литература

1. Кувалдин А. Б., Федин М. А., Генералов И. М., Кулешов А. О. Разработка и исследование системы управления перестраиваемым тиристорным преобразователем частоты для индукционного нагрева при сильно изменяющейся нагрузке // Вопросы электротехнологии. Саратов: СГТУ, 2017.
2. Кувалдин А. Б., Федин М. А., Генералов И. М., Кулешов А. О. Заявка на полезную модель № 2017122581.

Е. А. Кореченков, студ.; рук. М. А. Федин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Одной из важнейших задач создания и эксплуатации летательных аппаратов (ЛА) является обеспечение комфортности жизнедеятельности членов экипажа и пассажиров, а также безопасность полетов. Огромное внимание уделяется обледенению — всемирно признанной серьезной проблеме безопасности. В подавляющем числе случаев обледенение ЛА происходит при полете в среде, содержащей переохлажденные капли воды: в облаках, в условиях дождя, мокрого снега. Такое обледенение называется капельным и является наиболее тяжелым видом обледенения ЛА [1]. Сейчас постоянно исследуются и разрабатываются новые системы противообледенения. Системы противообледенения можно разделить на следующие системы: электротепловые, воздушно-тепловые, жидкостные и пневматические. Была выбрана электротепловая система противообледенения. Они используются, например, для защиты крыла (рис. 1) и оперения [2].



Рис. 1. Сечение предкрылков (защищаемые поверхности)

В работе проведен тепловой расчет системы защиты ЛА от обледенения на основе анализа теплообмена поверхностей. Был предложен вариант макета для демонстрации эффективной борьбы с обледенением.

Предложено использование нагревательного элемента на основе резистивного материала на гибкой подложке, размещенного на нагреваемой поверхности для обогрева поверхностей ЛА.

Проведены испытания экспериментальных образцов нагревательных элементов для подтверждения возможности нагревательных элементов обеспечить требуемую мощность обогрева в полете и подтвердить требования по теплостойкости, гибкости и весовым параметрам.

Литература

1. **Бетин А. В., Бондарев Н. В., Кобрин В. Н.** Функциональные системы аэрокосмической техники. Харьков: ХАИ, 2005.
2. **Тенишев Р. Х.** Противообледенительные системы летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1967.

Д. А. Котюков, студент; рук. А. Б. Кувалдин, д.т.н., проф.;
М. А. Федин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ МИКСЕРОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ВЫСОТЫ ИНДУКТОРА

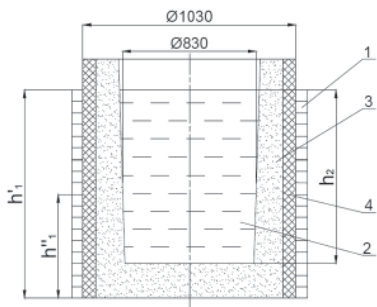


Рис. 1. Эскиз системы «индуктор-загрузка»: 1 — индуктор; 2 — металл; 3 — тигель; 4 — теплоизоляция

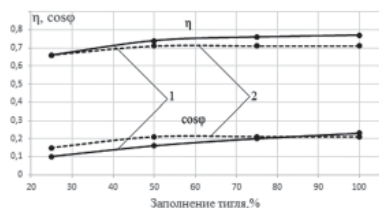


Рис. 2. Зависимости η и $\cos\varphi$ от высоты расплава в тигле:
1 — $h'_1 = 1040$ мм; 2 — $h'_1 = 520$ мм

плава, так как электрический КПД уменьшился незначительно (на 4–8%), а коэффициент мощности увеличился существенно (примерно на 5–50%).

При уменьшении высоты расплава (h_2) в индукционном тигельном миксере (ИТМ) целесообразно изменять высоту индуктора (h_1) для достижения более высокого значения коэффициента мощности путем отключения некоторого количества витков (рис. 1).

Исследовалось изменение электрического коэффициента полезного действия и коэффициента мощности ИТМ для чугуна емкостью 4 т в зависимости от h_2 для нескольких значений h_1 (значения $h'_1 = h_1$ и $h'_1 = 0,5 \cdot h_1$, рис. 1).

Расчет проводился с использованием программ *TIGELSM* (по методикам А. М. Вайнберга и общего магнитного потока) и *OVERHEAT* (по методу индуктивно-связанных контуров) [1–3].

На рис. 2 приведено сравнение электрического η и $\cos\varphi$ ИТМ при двух значениях высоты индуктора.

Проанализировав энергетические характеристики, сделан вывод о целесообразности переключения числа витков индуктора при изменении высоты расплава.

Литература

1. Вайнберг А. М. Индукционные плавильные печи. М.: Энергия, 1967.
2. Слухоцкий А. Е., Немков В. С., Павлов Н. А., Бамунэр А. В. Установки индукционного нагрева. Л.: Энергоиздат, 1981.
3. Кувалдин А. Б., Погрёбисский М. Я., Федин М. А. Расчет тепловых и электрических характеристик индукционных тигельных миксеров // Электрометаллургия. — 2007. — № 12. — С. 18–27.

*А. О. Кулешов, С. В. Ахметьянов, аспиранты;
рук-ли М. А. Федин, к.т.н., доц.,
А. Б. Кувалдин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ С ПРОВОДЯЩИМ ТИГЛЕМ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Индукционные тигельные печи (ИТП) с проводящим тиглем (ПТ) применяются для выплавки медных и магниевых сплавов и других металлов.

Разработаны методики расчета и произведена идентификация ИТП с немагнитным (для плавки меди) и ферромагнитным ПТ (для плавки магния), как объектов управления. При определенных условиях загрузка ИТП с ПТ представляет собой двухслойное тело, и возникает физический эффект обратной электромагнитной волны при индукционном нагреве [1].

Процесс плавки медной и магниевой шихты делится на три этапа: нагрев, расплавление шихты и перегрев расплава перед разливкой. Самым сложным режимом для работы источника питания является процесс расплавления и перегрева расплава, когда электрические и энергетические характеристики ИТП изменяются наиболее сильно. С целью повышения энергоэффективности плавильной установки разработаны системы электропитания с использованием силового трансформатора и преобразователя числа фаз или управляемого преобразователя частоты.

Разработаны различные варианты систем управления процессом плавки в ИТП с ПТ в зависимости от технологического процесса и емкости печи (релейная, непрерывная с ПИ-регулятором, непрерывная со сложной структурой), позволяющие снизить удельный расход электроэнергии и сократить время плавки [2–3].

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (инициативный научный проект 8.9608.2017/БЧ).

Литература

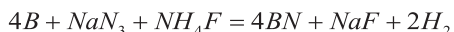
1. **Федин М. А., Кувалдин А. Б., Кулешов А. О.** Выбор методики расчета и исследование электрических характеристик индукционных тигельных печей с проводящим тиглем // Вестник МЭИ. — 2017. — № 3. — С. 77–86.
2. **Kuvaldin A. B., Fedin M. A., Kuleshov A. O., Zhmurko I. Y.** Development of relay control systems of power and temperature mode of induction crucible furnaces with use of physical modeling // Materials Science Forum. — 2017. — Vol. 906. P. 8–15.
3. **Федин М. А., Кувалдин А. Б., Генералов И. М., Кулешов А. О.** Разработка и исследование системы управления перестраиваемым тиристорным преобразователем частоты для индукционного нагрева при сильно изменяющейся нагрузке // Вопросы электротехнологии. — 2017. — № 2. — С. 93–101.

Г. М. Кунцев, студент; рук. М. А. Федин, к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ИНДУКЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НИТРИДА БОРА

Нитрид бора и материалы на его основе занимают заметное место в ряду важнейших инструментальных материалов и являются основой многих современных технологий. Он нашел широкое применение в реакциях промышленного органического синтеза, в изделиях высокотемпературной техники, в производстве полупроводников, и др. Из нитрида бора изготавливают высокоогнеупорные материалы, проявляющие как полупроводниковые, так и диэлектрические свойства [1].

Для проведения процесса получения нитрида бора выбрана следующая химическая реакция [2]:



Существует два основных метода получения нитрида бора: неэлектрический (пиролиз) и электрический (плазменный нагрев). Процесс получения нитрида бора пиролизом не регулируем и очень опасен. Плазменный нагрев характеризуется высоким расходом электроэнергии.

В связи с этим был предложен индукционный метод получения нитрида бора. Процесс получения нитрида бора происходит в индукционной печи в инертной среде аммиака при повышенном давлении. Установку заполняют фторидом аммония и разогревают, в течение процесса нагрева добавляют азид натрия и бор. В обычной среде эти три вещества не вступают в реакцию, для протекания реакции создается нужная окружающая среда, в которой в процессе многостадийного нагрева получается нитрид бора.

Для проведения экспериментальных исследований и настройки системы управления процессом получения нитрида бора на каф. ЭППЭ спроектирована лабораторная индукционная установка со следующими техническими характеристиками: мощность 25 кВт, диаметром тигля 75 мм, высотой тигля 150 мм, объем тигля 600. Электрический и тепловой расчеты установки проведены в пакете *ELCUT* методом конечных элементов.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (инициативный научный проект 8.9608.2017/БЧ).

Литература

1. Сайт компании «ТЕРРАСНАБ» <http://www.nitrid-bora.ru/>
2. **Н. В. Дудченко, И. Ф. Чернов** — Особенности технологии гексагонального нитрида бора // Технические науки — Металлургия и энергетика. — 2016 — С. 1–5.

А. В. Кузнецов, соиск.;
рук. А. Н. Макаров, д.т.н., проф. (ТвГТУ, г. Тверь)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАГЛУБЛЕНИЯ ДУГИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОКА ДУГИ

Коэффициент заглабления дуги в ванну с металлом в дуговых сталеплавильных печах трехфазного тока зависит от тока, положения и длины дуги и формы торца электрода [1]. Коэффициент заглабления дуги связан с параметром h_3 — высотой заглабления дуги и η_d — КПД дуги. С учетом сопутствующих горению дуги факторов влияющих на заглавление дуги, по результатам исследования в печах ДСП [2] построены графики изменения $\kappa_3 = f(I_d)$ (рис. 1).

График 1 соответствует предельному заглавлению тока дуги, т.е. соответствует случаю, когда дуга убирается под электрод и практически не выдувается из-под него. Предельное для данного тока заглавление дуги наступает в том случае, когда торец электрода, где горит дуга, имеет горизонтальную поверхность и высота заглавления дуги превышает ее длину. В остальных случаях дуга выдувается из-под электрода и коэффициент ее заглавления определяется по графику 2.

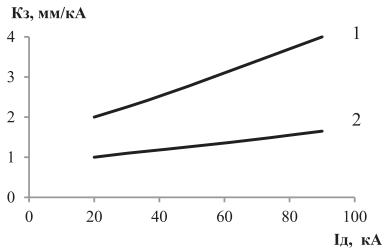


Рис. 1. Изменение коэффициента заглавления в зависимости от тока дуги: 1 — $\kappa_{3 \max} = f(I_d)$; 2 — $\kappa_{3 \min} = f(I_d)$

Литература

1. Макаров А. Н. Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установках // Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2014. — 384 с.
2. Макаров А. Н., Кузнецов А. В., Рыбакова В. В., Галичева М. К. О влиянии формы электрода и параметров дуги на ее заглавление в ванну металла в дуговых сталеплавильных печах // Электрометаллургия, 2014. № 10. С. 10–15

*М. А. Максимова, асп.; С. С. Кибкало, асп.;
рук. А. И. Данилушкин, д.т.н., проф. (СамГТУ, Самара)*

КОСВЕННЫЙ ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ ВЯЗКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Исследуются взаимосвязанные электромагнитные, тепловые и гидравлические процессы при косвенном индукционном нагреве вязких нефтепродуктов при их транспортировке. В работе используется численная модель расчета электромагнитных и температурных полей в трубе и потоке жидкости при нагреве источниками тепла, выделяющимися в трубах нагревателя под действием вихревых токов. Первым этапом в решении поставленной задачи является исследование закономерностей распределения внутренних источников тепла в стенке трубы. Получаемая в ходе решения электромагнитной задачи графическая и численная информация позволяет получить пространственное распределение плотности тока и удельной мощности в стенке трубы по длине нагревателя.

Вторым этапом исследования является расчет температурного поля в потоке жидкости. Существенное различие постоянных времени электромагнитных и тепловых процессов позволяет осуществить разделение во времени процедур расчета внутренних источников тепла и температурных полей в теле нагревателя и нагреваемой жидкости. Это обстоятельство позволяет электромагнитную задачу сформулировать как стационарную, а тепловую представить в форме системы дифференциальных уравнений нестационарной теплопроводности. Процессы теплообмена рассматриваются при ламинарном течении жидкости в трубе. Как показывают расчеты, вследствие низкой теплопроводности нефти при ламинарном течении ее нагрев характеризуется большим перепадом температур по сечению потока, что приводит к необходимости поиска оптимального соотношения между длиной нагревателя, сечением трубы и подводимой мощностью. При расчете мощности нагревателя необходимо также учитывать дополнительное ограничение на температуру стенки трубы, обусловленное свойствами вязких нефтепродуктов. Это ограничение приводит к неравномерному распределению мощности по длине нагревателя и необходимости деления нагревателя на несколько автономных секций по длине. Полученные результаты моделирования используются для разработки конструкции индукционного нагревателя жидкости.

*Ю. В. Обухова, студент;
рук. Н. Н. Клочкова, А. В. Обухова к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)*

ПРИМЕНЕНИЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ПРИ РАЗОГРЕВЕ ТЕЛ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

В промышленном производстве часто возникают задачи получения требуемой температуры в заданных зонах нагреваемой детали, например разогрев торцов труб перед сваркой, застывшей пластмассы в объеме конической формы до момента отлипания пограничного слоя от стенок формы и т. д. Наиболее эффективным способом получения требуемой температуры в таких задачах является индукционный нагрев.

Качественное управление процессом нагрева возможно лишь при наличии полной информации о разнородности нагреваемых материалов, их формы, сложной геометрии с учетом взаимодействия электромагнитных и тепловых полей и т. д. Для практических расчетов, достаточно иметь приближенное математическое описание технологического процесса, которое с определенной степенью точности, позволяет обеспечить требуемые показатели качества синтезируемой системы автоматического управления.

Моделирование электротепловой задачи осуществляется методом конечных элементов, что позволяет получить заданное распределение внутренних источников тепла с учетом краевых эффектов.

Исследуемая область аппроксимируется совокупностью элементов с конечным числом узловых точек. В пределах каждого элемента находится интерполяцией векторный магнитный потенциал и температура. Определяются функциональные соотношения относительно узловых неизвестных, составляется система уравнений МКЭ:

$$\{[K] + j[Q]\}[\dot{A}] + [\dot{R}] = 0$$

$$\left(\frac{[C]}{\Delta t}\right) + \frac{2}{3}[K_t]\{T\}_{n+1} = \left(\frac{[C]}{\Delta t} - \frac{1}{3}[K_t]\right)\{T\}_n + \{F\}_n$$

где $[K]$, $[C]$ — матрицы жесткости, $[Q]$ — анализируемая область, $[\dot{A}]$ и $[\dot{R}]$ глобальная матрица и матрица внешних источников, $[K_t]$ -матрица демпфирования, $[F]$ — вектор источников, $[T]$ — матрица базисных функций, Δt — временной шаг, n — номер шага.

Для решения этих уравнений составлен следующий алгоритм:

- В начальный момент времени $t=0$ определили векторный потенциал, напряженность поля и плотность тепловой мощности.
- На основании шаговой процедуры произвели расчет температурного поля по узлам, в соответствии с которым определили значения напряженности в следующий момент времени.

Найденный алгоритм был использован для расчета процесса индукционного нагрева неэлектропроводной массы (например, пластмассы) в электропроводной оболочке.

*О. Е. Павлова, К. О. Петропавлова, магистранты;
рук. А. А. Базаров, д. т. н., доц. (СамГТУ, Самара)*

ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ ПЕРЕД ПРЕССОВАНИЕМ

Целью работы является исследование электромагнитных и тепловых процессов в индукционной установке и определение параметров, обеспечивающих минимум расхода электроэнергии и отклонений температуры при нагреве перед прессованием.

Для придания исходной цилиндрической заготовке требуемой пластичности производится разогрев до 1200°C [1]. В ходе нескольких операций прессования цилиндрическая заготовка диаметром и длиной мм превращается в колесо железнодорожного вагона.

Расчет индуктора произведен с помощью программы COMSOL Multiphysics [2]. Магнитная проницаемость является функцией напряженности магнитного поля и зависит от марки стали. Разогрев заготовки до высокой температуры приводит к значительному изменению свойств материала, что отражается на распределении удельной мощности по длине загрузки и интегральных параметрах индуктора. При длине загрузки, равной 380 мм, и диаметре, равном 420 мм, длина индуктора принята равной 790 мм. Количество витков, равное 42, обеспечивает согласование с напряжением сети 380 В на всех стадиях нагрева. В холодном состоянии магнитная проницаемость на краях загрузки составляет 92, а в середине 77, что приводит к снижению удельной мощности в 2,6 раза и недогреву торцевых участков. Однако при переходе в немагнитное состояние краевые эффекты приводят к увеличению удельной мощности на торцах в 1,6 раза по отношению к середине. Более длительный второй этап нагрева позволил выровнять распределение температуры к концу процесса нагрева. Мощность в загрузке изменяется от 110 кВт в начале нагрева до 64 кВт в конце.

Использование численных моделей тепловых и электромагнитных процессов при проектировании индукционных систем позволяет оперативно рассчитать параметры индуктора при поиске экономичных режимов работы установки.

Литература

1. **Кувалдин А. Б.** Индукционный нагрев ферромагнитной стали. М.: Энергоатомиздат, 1988. 200 с.
2. **Калганова С. Г., Архангельский Ю. С., Тригорлый С. В., Захаров В. В.** Численное моделирование электротехнологических процессов с применением программного пакета COMSOL MULTIPHYSICS // Вопросы электротехнологии. Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А. 217. № 2 (15) с. 34–42.

*К. О. Петропавлова, О. Е. Павлова, магистранты;
рук. А. А. Базаров, д. т. н., доц. (СамГТУ, г. Самара)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ДИСКОВ ТУРБИН

Для определения срока службы дисков турбоагрегатов разработан стенд термоциклических и разгонных испытаний [1]. Индукционная система, являющаяся частью стенда, позволяет обеспечить циклический нагрев диска до температур, близких к рабочим значениям с целью определения ресурса элементов двигателя. Диск имеет сложную геометрическую форму, что затрудняет воссоздание распределений температур, имеющих место в реальных условиях эксплуатации. Для нагрева используется система индукторов, которые подключаются к преобразователям частоты. При моделировании тепловых процессов создаются прямые и обратные градиенты температуры вдоль радиальной координаты диска. Значения температур находятся в диапазоне от 300 до 600°C. Учитывая наличие нескольких локальных источников нагрева, проблемой является выравнивание распределений. Время достижения зависит от коэффициента теплопроводности, функции распределения удельной мощности вдоль радиальной координаты и значения мощностей. Для диска диаметром 500 мм практически неизменной толщины рассчитаны два индуктора, расположенные в центре и на краю диска, которые обеспечивают распределения температуры с заданным постоянным градиентом (прямым и обратным) вдоль радиальной координаты. Мощности индукторов в зависимости от направления градиента изменяются в пределах от 11 до 18 кВт. Выбор частоты тока, равной 2400 Гц, обусловлен требованием к равномерности прогрева по глубине. Учитывая небольшие диаметры и число витков индукторов, напряжение варьирует от 40 до 60 В. Это приводит к необходимости использования согласующих трансформаторов. Найденные параметры индукционной системы позволили обеспечить создание распределения температуры с перепадом между ступицей и ободом, равным 500 градусов за 350 секунд. Решение поставленной задачи достигается в ходе многократного моделирования электромагнитных и тепловых процессов, когда корректируются значения уровней мощностей, расположение индукторов и интервалы управления нагревом в каждой зоне.

Литература

1. **Ножницкий Ю. А., Федина Ю. А., Шадрин Д. В. и др.** Новые возможности применения разгонных стендов для обеспечения прочностной надежности газотурбинных двигателей: Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2015. Т. 14. — № 3–1 — с. 71–87.

О. А. Поляков, аспирант; рук-ли А. Б. Кувалдин, д.т.н., проф.;
М. А. Федин, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЛИНЕЙНОЙ ДИСКРЕТНОЙ ПРОВОДЯЩЕЙ СРЕДЕ

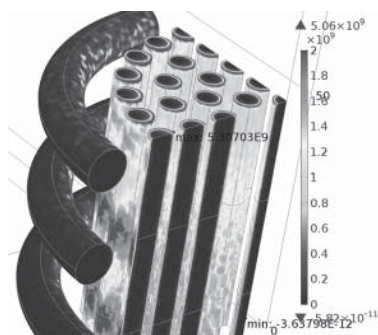


Рис. 1. Распределение объемной мощности тепловыделения в расчетной области, Вт/м³

рой существует возможность моделирования ЭМП в отдельных элементах загрузки, форма, размеры и свойства которых могут различаться. Такое представление ЭМС наиболее приближено к реальным условиям работы ИТП. Разработана трехмерная математическая модель такой ЭМС, позволяющая рассчитывать параметры ЭМП в линейной ДПС (немагнитная сталь с удельным электросопротивлением $\rho = 7,086 \cdot 10^{-7}$ Ом·м). В результате исследования установлено, что ЭМП эффективнее проникает в ДПС по сравнению со сплошной независимо от насыпной плотности и частоты. Это объясняется тем, что индуцированные токи замыкаются практически только в пределах отдельных проводящих объектов, т. к. последние электрически плохо контактируют друг с другом даже при большой насыпной плотности. Получены распределенные параметры ЭМП в линейной ДПС, что позволяет описать индукционный нагрев шихты с различным гранулометрическим составом и электрофизическими свойствами. В примере (рис. 1) приведено распределение удельной объемной мощности тепловыделения для ИТП мощностью 2,5 кВт при токе 200 А, частоте 200 кГц со следующими размерами: диаметр индуктора — 70 мм, высота индуктора и загрузки — 100 мм.

Явление проникновения электромагнитного поля (ЭМП) в дискретную проводящую среду (ДПС) широко распространено в электротехнологии, например, при индукционном нагреве совокупности дискретных проводящих объектов. Так, в индукционных тигельных печах (ИТП) в начальный период плавки загрузка представляет совокупность кусков шихты [1].

Расчет такого режима работы ИТП представляет собой сложную трехмерную задачу. ИТП представлена в виде электромагнитной системы (ЭМС) «индуктор — дискретная загрузка», в кото-

Литература

1. А. Kuvaldin, М. Fedin, Е. Kasatkina, О. Polyakov. Development of mathematical model for calculating electric and power characteristics of induction crucible furnace with lumpy charge on using finite elements method // Proceedings of the 11th IFOST/NSTU. — Novosibirsk, 2016. — P. 91–95.

Э. Ф. Сальманова, асп.; рук-ли В. П. Рубцов; д.т.н., проф.,
М. Я. Погребисский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ ТАММАНА ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ВАКУУМЕ И СРЕДЕ ИНЕРТНОГО ГАЗА

Одной из распространенных конструкций высокотемпературных печей сопротивления является печь Таммана, в которой нагреватель выполняется в виде угольной или графитовой трубы, а внутренность трубы является рабочим пространством печи, в которое закладываются нагреваемые изделия. Достоинством печи Таммана является высокая равномерность температурного поля.

Однако при атмосферном давлении не обеспечивается в полной мере защита нагреваемых изделий от окисления или иного химического воздействия среды, поэтому лучшие результаты процессов нагрева, в том числе при высокотемпературных лабораторных исследованиях, достигаются при использовании вакуумных печей, разработанных на основе печи Таммана. В таких печах технологические процессы проводятся в вакууме или в инертной защитной среде (например, аргоне).

Тепловое сопротивление теплоизоляции вакуумной печи Таммана представляет собой сумму тепловых сопротивлений излучения (экранной теплоизоляции) и теплопроводности (графитовых цилиндров). При расчете печи следует учитывать тот факт, что пренебречь тепловым сопротивлением теплопроводности графитовых экранов невозможно, в отличие от широко распространенных тонких металлических экранов.

Разработана структурная математическая модель нестационарных тепловых процессов вакуумной печи Таммана, основанная на уравнениях энергетического баланса для макроэлементов печи (нагреватели, загрузка, теплоизоляция). Модель реализована в среде *Matlab/Simulink*. Проведены исследования на модели, результаты исследований будут использованы при выборе технологических режимов печи, разработке и настройке системы автоматического регулирования температуры.

Литература

1. **Свенчанский А. Д.** Электротехнологические промышленные установки. М.: Энергоиздат 1982.
2. **Михеев М. А., Михеева И. М.** Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977.
3. **Минеев А. Р., Коробов А. И., Погребисский М. Я.** Моделирование электротехнологических процессов и установок. М.: Компания Спутник+, 2004.

*Н. М. Самойлов, студ., Р. З. Муратов, студ.;
рук. В. А. Данилушкин., к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРООБЕССОЛИВАНИЯ НЕФТИ В ЭЛЕКТРОДЕГИДРАТОРАХ

В настоящее время на нефтеперерабатывающие заводы поступают нефти, содержащие до 2% пластовой воды, содержащей хлористые соли. Для полного удаления солей вся нефть подвергается обессоливанию на специальных электрообессоливающих установках. Принцип действия электродегидраторов основан на воздействии переменного электрического поля на капли воды, взвешенные в нефтяном слое. С этой целью используют электрическое поле высокой напряженности. Под воздействием электрического поля отдельные капли сталкиваются друг с другом, в результате чего мелкие водяные капли сливаются и укрупняются, что способствует их осаждению в электродегидраторе. Процесс протекает при температурах $140 \div 160$ град., при напряжении между электродами $27 \div 33$ кВ. Наиболее быстрое и полное разрушение нефтяных эмульсий достигается при их подогреве с применением эффективных реагентов — деэмульгаторов. При выборе оптимальных параметров технологического режима обессоливания нефти необходимо учитывать влияние каждого из них на эффективность процесса. Одним из важнейших параметров процесса обессоливания является температура. Подогрев нефти позволяет уменьшить ее вязкость, что существенно повышает подвижность капелек воды в нефтяной среде и ускоряет их смещение. Вместе с тем подогрев нефти увеличивает ее электропроводность, что приводит к повышению расхода электроэнергии. Для повышения эффективности работы исследуется зависимость интенсивности процесса обессоливания от температуры нефти, частоты источника питания, напряжения между электродами и межэлектродного расстояния. Предложена структурная модель взаимосвязанных электрических и термомеханических процессов при формировании капель более подвижной водяной эмульсии в среде вязкой нефти. Структурная модель положена в основу разработки математической модели процесса воздействия электрического поля на частицы воды для исследования влияния параметров процесса на интенсивность обессоливания. Полученные аналитические зависимости будут использованы при решении задачи определения оптимальных параметров источников питания, частоты подводимого напряжения, расстояния между электродами, уровня напряжения, температуры нефти и других факторов.

Ю. М. Соколова, асп.;
рук. А. Н. Макаров, д. т. н., проф. (ТвГТУ, Тверь)

РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛАВОК В ЭЛЕКТРОПЕЧАХ ОБЫЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ И CONSTEEL

Одной из важнейших задач усовершенствования способов плавки стали является ввод тепла в ванну стали дуговой сталеплавильной печи. Расчеты показывают, что наиболее эффективным способом является введение тепла с помощью электрических дуг, КПД которых составляет 0,69–0,78.

Средний за плавку КПД дуги $\eta_{дс}$ устойчивый показатель, характеризующий энергоэффективность работы дуговой сталеплавильной печи (ДСП). Расчет среднего за плавку КПД дуг электропечей позволяет рассчитать следующие средние энергетические показатели плавок печей: среднюю полезную удельную энергию, вводимую в печь дугами, среднюю удельную полезную энергию факелов газокислородных горелок (ГКГ), среднюю удельную полезную энергию окисления кокса и электродов. КПД дуг определяли по выражению [1–3]:

$$\eta_{дс} = P_{п} / P_{д} = 0,08 + \varphi_{дм}$$

где $P_{п}$ — полезная мощность дуги, идущая на нагрев, расплавление металла и шлака; $P_{д}$ — мощность дуги; $\varphi_{дм}$ — средний угловой коэффициент излучения дуги на металлошихту и ванну металла.

Авторами был осуществлен расчет и анализ эффективности различных способов ввода тепла в ванну металла печей ДСП-120со и ДСП-120об, который показал, что параметры дуг (мощность, напряжение, ток, длина) печей ДСП-120со и ДСП-120об одинаковы или близки по значению. Однако электрические дуги печи ДСП-120об используются более эффективно с большим КПД и большей полезной мощностью, меньшим общим за плавку потреблением электрической энергии.

Литература

1. **Макаров А. Н.** Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установках. СПб.: Лань, 2014.
2. **Макаров А. Н.** Изменение КПД дуг в процессе плавки в дуговых сталеплавильных печах // Металлург. 2017. № 4.
3. **Makarov A. N., Rybakova V. V., Galicheva M. K.** Electromagnetic and the Arc Efficiency of Electric Arc Steel Melting Furnaces // Journal of Electromagnetic Analysis and Applications. 2014. Vol. 6.

А. И. Суханов, студ.; рук. М. А. Федин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ УВЕЛИЧЕНИЯ ДЛИНЫ И МОЩНОСТИ ИНДУКЦИОННЫХ И РЕЗИСТИВНЫХ СИСТЕМ ОБОГРЕВА ПРОМЫШЛЕННЫХ НЕФТЯНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ И СКВАЖИН



Рис. 1. Индукционно-резистивный гофрированный кабель

Для поддержания температуры продукта в трубопроводах хорошо себя зарекомендовали индукционные и резистивные системы обогрева.

На сегодняшний день существует потребность в увеличении длины и мощности обогрева нефтяных трубопроводов. Основная сложность в увеличении

длины и мощности систем обогрева заключается в том, что при определенном электрическом напряжении возникают частичные разряды, которые вызывают разрушение изоляции. Для решения этой проблемы предлагаются и исследуются следующие системы обогрева:

1. Индукционно-резистивная система нагрева (ИРСН) с биметаллическим внешним проводником [1], например, двухслойная ИРСН, в которой обратный ферромагнитный проводник имеет внутренний медный слой.
2. ИРСН, конструктивно представляющая собой индукционно-резистивный гофрированный кабель (рис. 1).
3. Трехфазная резистивная система нагрева (РСН), представляющая собой высоковольтный кабель, в котором из-за отсутствия скин-эффекта необходима его электрическая изоляция. Для РСН можно добиться существенного увеличения длины обогрева за счет большого значения напряжения возникновения частичных разрядов.

Литература

1. Кувалдин А. Б., Струпинский М. Л., Хренков Н. Н., Федин М. А. Индукционно-резистивная система нагрева с биметаллическим внешним проводником // Электротехника. — 2011. — № 2 — С. 58–63.

А. В. Танаев, асп.;
рук. А. Н. Проценко, к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ПП CEDRAT FLUX

Моделированию сложных электротехнических установок зачастую препятствуют алгоритмы эмуляции движения, заложенные в программных средах. Практически всегда программные среды позволяют реализовать для конкретного объема или части численной модели только один вид движения (перемещение или вращение) в то время как моделирование сложного движения, например вращения и перемещения, оказывается затруднительным или даже невозможным.

В настоящей статье рассматривается метод, позволяющий моделировать сложное движение в программном пакете (ПП) Cedrat FLUX. Объектом моделирования является проходная соленоидальная индукционная установка, предназначенная для закалки шаров. Шары перемещаются вдоль установки по двум направляющим и при этом вращаются, т.е. совершают комбинированное поступательно-вращательное движение.

Данный вид движения не предусмотрен ПП Cedrat FLUX. Для преодоления данного ограничения можно пойти следующим путем: назначить «простые» виды движения сразу двум частям модели (индуктору и шару) так, чтобы их относительное движение отражало движение шара в реальной установке.

Одной из возможностей на данном пути является моделирование всей длины индуктора и его перемещение в расчетной области относительно вращающегося на одном месте шара. Второй вариант — моделирование неподвижного отрезка индуктора достаточной для нивелирования краевых эффектов длины и выдержка в нем шара в течении времени нагрева.

Первый вариант при густой сетке конечных элементов и/или значительной длине индуктора резко снижает производительность модели. Поэтому он рекомендован только для случаев, когда имеет место пространственное управление нагревом (изменяющаяся по длине индуктора плотность намотки, двухсекционный индуктор, двухчастотный нагрев и т.д.) [1]. Второй вариант подходит для большинства случаев, встречающихся в производственной практике.

Литература

1. **Слухоцкий А. Е., Рыскин С. Е.** Индукторы для индукционного нагрева. Л.: Энергия, 1974.

Е. Н. Туренкова, студ.;
рук. И. Ю. Долгих, к. т. н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКТОРОВ ДЛЯ НАГРЕВА ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Под индукционным нагревом понимают нагрев токопроводящих изделий в электромагнитном поле за счет теплового действия электрического тока, протекающего непосредственно по нагреваемому телу и возбуждаемого в нем благодаря явлению электромагнитной индукции. Основным достоинством индукционного метода нагрева является возможность осуществления бесконтактной передачи энергии в заданную область изделий при использовании атмосферы требуемого химического состава. Указанное преимущество делает актуальным его применение в различных технологических процессах [2], связанных с нагревом и плавкой металлов, с высокими требованиями к энергетическим показателям и качеству выпускаемой продукции.

Простейший индуктор представляет собой многовитковую цилиндрическую или плоскую катушку индуктивности, выбор конструктивных параметров которой производится на основании видов нагреваемого изделия и осуществляемого технологического процесса. При этом по сравнению с нагревом цилиндрических тел, нагрев плоской поверхности имеет ряд особенностей, обуславливающих необходимость применения специальных мер, направленных на повышение энергетических параметров технологического процесса за счет концентрации магнитного поля в требуемых областях. Применение плоского индуктора различно [1]: плавка, пайка и сварка металла, гибка и термообработка деталей машин, поверхностная закалка, закалка и термообработка деталей сложной формы, в бытовой технике и т. п.

В докладе рассматриваются различные варианты конструктивного исполнения индукторов для нагрева плоских поверхностей круглой формы. Проведено моделирование индукторов и исследование распределения магнитного поля, плотности тока в нагреваемом изделии и индукторе и тепловыделения по интересующим осям при вариации конструктивных параметров. Показано преимущество использования феррита для концентрации тепловыделения в требуемом объеме изделия с плоской поверхностью.

Литература

1. **Чернышов Г. Г.** Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением: учеб. пособие / Г. Г. Чернышов, Д. М. Шашин. — СПб.: Лань, 2013. — 464 с.
2. **Современные энергосберегающие электротехнологии:** Учебное пособие для вузов / Ю. И. Блинов, А. С. Васильев, А. Н. Никаноров и др. — СПб: Изд-во СПбГТЭУ «ЛЭТИ», 2000. — 564 с.

*Н. М. Вахмянин, асп., Д. А. Гапонова, студ.;
рук. А. В. Щербаков, д. т. н. проф. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПУШКИ УСТАНОВКИ АДДИТИВНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ*

Аддитивные технологии, применяемые в разработке моделей, прототипов и деталей для различных отраслей промышленности и других областях, развиваются активными темпами. Уже сейчас стоит отметить активную работу над технологией электронно-лучевой наплавки, позволяющей создавать детали и инструменты путем послойного оплавления металлической проволоки (EBF_3 — технология) [1].

Важным аспектом реализации аддитивных технологий является способ управления мощностью, затрачиваемой на расплавление материала. Известно, что в электронно-лучевой технологии применяют импульсное воздействие луча на материал, при котором тепловложение регулируется частотой и длительностью воздействия пучка электронов [2]. Такой способ позволяет регулировать мощность пучка при неизменном положении плоскости фокусировки.

Вследствие этого важной задачей при разработке модулятора напряжения электронной пушки является правильный выбор параметров модуляции, расчет САУ модулятора и определение его элементной базы, гарантирующей надежность работы ЭЛУ.

На кафедре ЭППЭ НИУ «МЭИ» разработана модель модулятора напряжения электронной пушки. Построение модели проводилось с использованием пакета *NI Multisim 11.0*, что не только позволит проводить настройку параметров элементов цепи, но также будет полезно в подборе элементной базы для дальнейших решений задач проектирования и разработки комплекса систем электропитания и управления электронным пучком пушки в установке аддитивного формообразования.

* *Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-79-20015).*

Литература

1. **Зленко М. А.** Аддитивные технологии в машиностроении / М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш // пособие для инженеров. — М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с.
2. **Назаренко О. К.** Схемотехника управления током сварочного пучка электронов / О. К. Назаренко. — Киев: Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, 2013. — 56 стр.

Д. А. Животягин, асп., В. В. Романов, асп.;
рук. А. И. Данилушкин, д. т. н., проф. (СамГТУ, Самара)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУСКОВЫХ РЕЖИМОВ ДВУХСЕКЦИОННОГО ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВАТЕЛЯ

Основной задачей управления пусковыми режимами двухсекционных индукционных нагревателей методического действия является минимизация суммарных потерь, которые обусловлены отклонениями температурного режима заготовок от требуемого по технологии значения. Сложность задачи заключается в наличии нелинейностей из-за изменяющихся физических свойств ферромагнитных заготовок по длине нагревателя в процессе пуска. Задача управления пусковыми режимами формулируется как задача поиска такого алгоритма управления двухсекционным нагревателем, который в процессе выхода на установившийся режим обеспечил бы минимум некондиционных заготовок и минимальное время выхода на установившийся режим работы. Задача управления решается численным методом путем многократного решения поисковых задач расчета мощности в процессе пуска. В процессе решения учитываются технологические и энергетические ограничения, накладываемые требованиями технологического процесса и параметрами источников питания. В качестве технологических ограничений рассматриваются максимальная температура нагрева, перепад температур по объему изделия, скорость нагрева, энергетических — мощность источника питания, коэффициент мощности и др. Численный расчет электромагнитных и тепловых полей в системе «индуктор–металл» производится совместно в программном комплексе Comsol 3.5, которая позволяет задавать в магнитной задаче зависимость всех параметров от температуры. Результаты расчета электромагнитной задачи в виде внутренних источников тепла используются при решении тепловой задачи расчета температурного распределения по радиальной и аксиальной координатам заготовки на каждой позиции. Решение тепловой задачи для заготовок, находящихся в нагревателе, проводится итерационно — с пересчетом распределения объемных источников тепловыделения в электромагнитной задаче и задании полученной картины в качестве источников для тепловой задачи. Таким способом осуществляется последовательный расчет электромагнитных и тепловых полей с обменом информацией в виде аппроксимирующих выражений для распределений температуры и внутренних источников тепловыделения. В процессе выхода нагревателя на установившийся режим управление осуществляется по трем каналам: напряжением, подводимым к каждой секции нагревателя и темпом перемещения заготовок.

Секция 27

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

Председатель секции — к.т.н., профессор М.А. Слепцов
Секретарь секции — к.т.н., доцент В.А. Глушков

А. А. Бриедис, аспирант;
рук. В. Д. Тулупов, д.т.н., проф. НИУ «МЭИ»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИОРИТЕТЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Для повышения эффективности деятельности и совершенствования методов планирования работы в Комплексной программе развития холдинга «РЖД» на период 2016–2020 гг. одной из приоритетных задач определена реализация научного технического проекта «Цифровая железная дорога».

Проведение такой политики непосредственно связано с интеллектуализацией электроподвижного состава (ЭПС), системы безопасности движения и с развитием железнодорожной инфраструктуры, на основе достоверной оценки показателей состояний, а также прогнозов их изменения.

Для реализации технического проекта «Цифровая железная дорога», необходимо совершенствовать системы железнодорожной автоматики и телемеханики, бортовые системы мониторинга технического состояния ЭПС.

Бортовой системе мониторинга технического состояния ЭПС необходимо в режиме реального времени получать полную информацию о техническом состоянии основных узлов: пневматической тормозной системе, электрических цепях, механического оборудования, состояния климатического оборудования обеспечивающего комфортабельные условия перевозки пассажиров.

Данная информация должна архивироваться и отображаться на дисплее диагностического контроллера машиниста, расположенного в кабине. Система должна формировать рекомендации локомотивным бригадам, а также передавать информацию в диагностическую сеть персоналу, ответственному за диагностику.

Анализ полученной информации позволит оперативно устранять неисправности, строить характеристики состояния узлов, проводить техническое обслуживание, диагностику до выхода из строя, давать рекомендации по улучшению компонентов поездов.

Это повышает эффективность содержание поездов, позволяет повысить межремонтные пробеги, снизить эксплуатационные затраты.

На уровне мирового железнодорожного сообщества есть четкое осознание того, что именно цифровые технологии, интеллектуальные системы управления — это будущее железнодорожного транспорта, только они дадут возможность конкурентоспособности отрасли в долгосрочной перспективе.

Г. Бурэн-Итгэл, асп.;

рук-ли В. А. Пречиский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва);

М. А. Слепцов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛОКОМОТИВА С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК В УСЛОВИЯХ УЛАНБАТОРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

В работе представлена полная математическая модель локомотива, включающая регулятор мощности тягового генератора, переходные процессы при переключении позиции контроллера машиниста, тяговый электродвигатель и динамические процессы. На основе предложенной модели сравниваются локомотивы 2ТЭ116УМ и 2ТЭ10МК, которые вводятся в эксплуатацию на Уланбатарской железной дороге (УБЖД) в связи с обновлением локомотивного парка. Моделирование скорости локомотивов показало, несмотря на более высокую мощность, локомотив 2ТЭ10МК характеризуется меньшей тягой и, как следствие, несколько меньшей скоростью при повышении позиции. Тем не менее, экономические показатели эксплуатации 2ТЭ10МК (расход топлива и масла, статистика по отказам работы) оказывается более предпочтительными. На основе анализа результатов моделирования ТЭД и динамических процессов, дополненных тяговым расчетом, в работе предлагаются рекомендации по обоснованному выбору локомотива для работы в условиях УБЖД.

Общая модель локомотива показана на рис. 1, она включает блок заданий, модуль управления мощностью, напряжением, модель ТЭД и модуль решения динамической задачи.

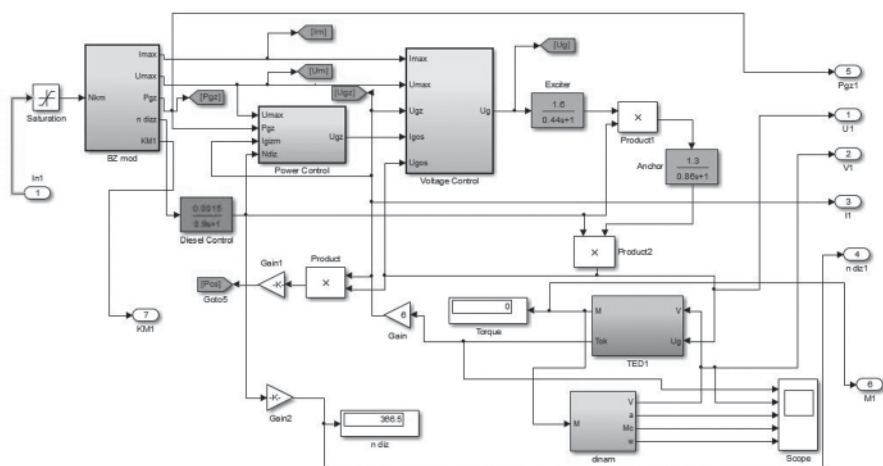


Рис. 1. Математическая модель УСТА локомотива

*А. Е. Рогов, студ.; И. П. Васильев, асп.;
рук. М. А. Слепцов, доцент., проф. (НИУ «МЭИ»)*

КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ МАНЕВРОВЫХ ГИБРИДНЫХ ЛОКОМОТИВОВ

Одной из актуальных и важных целей ОАО «РЖД», предусмотренных Стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г., Энергетической стратегией холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 г. и на перспективу до 2030 г.» и Экологической стратегией ОАО «РЖД» на период до 2020 г. и перспективу до 2030 г., является минимизация негативного воздействия ОАО «РЖД» на окружающую среду [1–3].

Гибридные локомотивы, требования к которым на сегодняшний день уже разработаны Проектно-конструкторским бюро локомотивного хозяйства — филиалом ОАО «РЖД», являются наиболее эффективным решением задач, поставленных в вышеуказанных стратегиях на перспективу до 2030 г.

Внедрение маневровых локомотивов с гибридной силовой установкой позволит улучшить экологическую обстановку, повысить шумозащищенность населения, сократить затраты на энергетические ресурсы, а также повысит имидж компании на мировом уровне, так как развитие инновационных проектов всегда с интересом встречается партнерами по рынку внутри страны и за рубежом, что в свою очередь повлечет повышение инвестиционной привлекательности компании ОАО «РЖД».

Литература

1. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года. [Электронный ресурс] //Url:http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396/. (дата публикации 16.04.2014).
2. Экологическая стратегия ОАО «РЖД» на период до 2017 года и перспективу до 2030 года. [Электронный ресурс]//Url: <http://doc.rzd.ru/>(дата публикации 25.05.2014).
3. Энергетическая стратегия холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2030 года. Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14.12.2016 № 2537 р. — 76 стр.

А. Н. Тимофеев, студ.; рук. Т. И. Савина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ С ЦЕЛЬЮ РЕШЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПРОБЛЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

При проектировании тяговых подстанций основной задачей является соблюдение требований по безопасности будущего объекта. Высокое значение для дальнейшего практическим применением имеют изучение и анализ аварийных режимов тяговой сети. Короткие замыкания всех видов создают опасность. Увеличение токов при их возникновении может приводить к разрушению электрических аппаратов, отжигу контактных проводов [1]. В случае замыкания на землю появляются опасные для жизни потенциалы. Защита от токов короткого замыкания должна обеспечивать защиту аппаратов и токоведущих частей тяговых подстанций и тяговой сети от термического и динамического воздействия аварийных токов, от возникающих перенапряжений. К воздействию токов коротких замыканий на тяговых подстанциях наиболее чувствительны полупроводниковые преобразователи, трансформаторы, питающие кабели. Для расчета сверхтоков и опасных потенциалов необходимо использование современных методов электрического расчета систем тягового электроснабжения. Одним из важнейших компонентов проектирования можно назвать расчет токов короткого замыкания.

Моделирование аварийных процессов на тяговых подстанциях на основе компьютерных программ повышает обоснованность схемных решений и выбора электрического оборудования [2]. Использование технических программ упрощают процесс и уменьшают вероятность ошибки расчета. Задача состоит в изучении эффективности применения компьютерных технологий, способных помочь в проектировании тяговых подстанций. Разработана программа, позволяющая провести моделирование аварийных режимов на переменном токе, моделирование переходных процессов в тяговой сети на постоянном токе, сравнение результатов с результатами аналитического расчета.

Литература

1. **Крючков И. П., Неклепаев Б. Н.** Расчет коротких замыкания и выбор электрооборудования / Под ред. проф. В. А. Старшинова. — М.: Академия, 2008. — 416 с.
2. **Черных И. В.** Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimpowerSystems и Simulink. — СПб.: ДМК Пресс, Питер, 2008. — 288 с.

*И. П. Васильев, асп.; А. Е. Рогов, студ.;
рук. В. Д. Тулупов, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ПОВЫШЕНИЕ ТЯГОВЫХ СВОЙСТВ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРУЗОВЫХ ЭЛЕКТРОВЗОВ 2,3,4ЭС5 К

К числу основных технических решений и технологий, на которые ориентирована энергетика холдинга ОАО «РЖД», является разработка и внедрение энергетически эффективного тягового подвижного состава нового поколения, а также модернизация существующего локомотивного парка на основе последних инновационных технических достижений в сфере ресурсосбережения на тягу поездов.

В границах данной работы ПКБ ЦТ ОАО «РЖД», совместно с научно-исследовательскими институтами и заводом-изготовителем локомотивов ООО «ПК «НЭВЗ» с 2013 по 2017 г. на Восточном полигоне проведен ряд испытаний по повышению энергетической эффективности электровозов 2,3,4ЭС5К, которые на сегодняшний день являются самой востребованной и крупногабаритной серией грузовых локомотивов (более 1000 электровозов) и обеспечивают грузоперевозки на всем Восточном полигоне.

Проведенные испытания показали, что повышение энергетической эффективности локомотивов 2,3,4ЭС5К возможно реализовать путем:

- применения поосного регулирования силы тяги и независимого возбуждения ТЭД;
- оптимизации алгоритмов управления в части максимального использования тяговых свойств локомотива на границе сцепления колеса и рельса;
- реализации алгоритмов интеллектуальной системы управления путем выбора оптимально необходимого количества ТЭД на тягу поездов в зависимости от условий эксплуатации и веса поезда.

Литература

1. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года. [Электронный ресурс] //Url:[http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396./](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396/). (дата публикации 16.04.2014).
2. Энергетическая стратегия холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2030 года. Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14.12.2016 № 2537 р. — 76 стр.
3. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года. Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 22.11.2008 № 1734 р. — 345 стр.

Р. Д. Ягфаров, студ.;
рук. В. А. Глушенков, к. т. н., с. н. с. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЯГОВЫХ РАСЧЕТОВ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА В СИСТЕМЕ MATLAB

В настоящее время система Matlab — это высокоэффективный язык инженерных и научных вычислений, позволяющая быстро выполнить практически любую задачу и наглядно показать ее решение с помощью имитационной модели. Так при проектировании энергосетей и потребителей для ГЭТ активно используют среду моделирования Simulink Matlab. При проектировании реализуется принцип визуального программирования, в соответствии с которым пользователь на экране создает модель из библиотеки блоков и осуществляет расчет.

Расчеты могут выполняться как по жестко заданным характеристикам привода при выбранном тяговом двигателе (ТЭД), так и по мощности необходимой для реализации транспортной работы, по которым в дальнейшем выбирается ТЭД и энергоустановка. В последнем случае необходимо учитывать к.п.д системы и отдельных элементов привода и энергоустановки.

К примеру, рассмотрим модель транспортного средства (ТС) с гибридной энергоустановкой, для которой требуется расчет расхода энергии на преодолеваемый путь. В ходе построения модели мы можем учитывать все факторы, влияющие на конечный результат. Такие как: скорость сообщения, сопротивление движению, уклоны дорожного полотна, потери на двигателе, потери на преобразователе и источнике питания, режимы движения в кривых и т.д. По результатам расчета можно сделать выводы о модели и заменить исходные данные. Так, например, при расчетах затрачиваемой энергии экобуса Peugeot Boxer, который двигается по городскому циклу SAE j 227 C, затраты энергии равны 150 Вт ч, но стоит нам увеличить разгон до 70 км/ч мы получаем неоптимальный расход энергии, который равен 200 Вт ч. Исходя из расчетов производится выбор оптимальных режимов вождения ТС и выбор параметров энергоустановки. При выборе параметров энергоустановки также надо учитывать потребление собственных нужд ТС, которые могут достигать в зависимости от условий комфортабельности 50–70% от энергии на тягу.

Таким образом, при заданном пробеге ТС с помощью Matlab удается оптимизировать алгоритмы движения и массогабаритные показатели устанавливаемой энергоустановки.

А. М. Омара, асп.; рук. М. А. Слепцов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЯМОГО УПРАВЛЕНИЯ МОМЕНТОМ В ТЯГОВОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ С МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ДВИГАТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ МОДУЛЯЦИИ

С ростом интереса к автономным электрическим транспортным средствам (ЭТС) получает развитие и эффективный, экономичный тяговый электропривод (ТЭП). В последнее время многие исследования посвящены поиску стратегий управления, позволяющих получить более высокие характеристики ТЭП с магнитоэлектрическим двигателем [1]. Прямое управление моментом (ПУМ) становится одним из наиболее применяемых методов благодаря его некоторым преимуществам, таким как быстрый динамический отклик, простота структуры, меньшее число используемых параметров [2]. Несмотря на преимущества, классическая система ПУМ имеет недостатки, например, переменная частота переключения, пульсации потока, тока и крутящего момента. Многие из опубликованных работ посвящены использованию пространственно-векторной модуляции (ПВМ) для улучшения динамических показателей управляемого электропривода, в том числе и с использованием ПУМ [3].

В данной статье представлена структурно-функциональная схема системы ТЭП, в которой реализован доработанный алгоритм ПУМ, использующий пространственно-векторную модуляцию и ПИ-регуляторы момента и напряжения. Представлены результаты моделирования системы и их анализа, которые подтвердили высокие динамические характеристики системы, а также снижение пульсаций тока и крутящего момента.

Литература

1. **Pellegrino G., Vagati A., Boazzo B., Guglielmi P.** Comparison of induction and PM synchronous motor drives for EV application including design examples // *IEEE Trans. Ind. Appl.* — 2012. — Vol. 48, no. 6. — P. 2322–2332.
2. **Bianchi N., Carraro E.** Design and comparison of interior permanent magnet synchronous motors with non-uniform airgap and conventional rotor for electric vehicle applications // *IET Electr. Power Appl.* — 2014. — Vol. 8, no. 6. — P. 240–249.
3. **Васильев Б. Ю., Козярук А. Е.** Повышение эффективности асинхронных электроприводов с прямым управлением моментом // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика».* — 2013. — Т. 13, № 2. — С. 75–84.

Со Не Не Хейн, асп; рук. Т. И. Савина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ ЭНЕРГОДИСПЕТЧЕРОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

В работе представлена техническая реализация автоматизированных рабочих мест энергодиспетчеров центрального энергодиспетчерского пункта и дистанции электроснабжения, в том числе структура, состав аппаратного и основные функции программного обеспечения.

Сервер ЦЭДП обеспечивает связь участковыми АРМ ЭЧЦ и обеспечивает хранение базы данных. ЦЭДП связан со всеми региональными ЭЧЦ через дорожную сеть передачи данных. Минимальная конфигурация оборудования для АРМ ЭЧЦ предусматривает два компьютера, два монитора, два адаптера связи и обеспечивает возможность горячего резервирования. Адаптер связи обеспечивает подключение двух линий связи телесигнализации и двух линий связи телеуправления. Реализована цифровая обработка сигналов в линиях связи с использованием цифрового сигнального процессора.

В современных системах телемеханики щит телесигнализации формируется из мониторов и обеспечивает отображение всех телеуправляемых объектов круга. При этом размеры такого щита остаются соизмеримыми с габаритами классического щита, а количество мониторов зависит от размера круга. Предложены основные принципы реализации динамического щита телесигнализации. Представление информации осуществляется на 3-х мониторах, обеспечивающих отображение структурной схемы и одной межподстанционной зоны. В режиме контроля состояния круга компьютер автоматически выводит на экран фрагмент щитовой схемы, содержащий последний переключившийся объект. Диспетчер использует несколько видов схем с различным уровнем детализации. При отображении структурной схемы выводится окно каталога событий, с информацией о последних переключившихся объектах и временем события.

Литература

1. **Почаевец В. С.** Автоматизированные системы управления устройствами электроснабжения железных дорог. — М: Маршрут, 2003. — 318 с.
2. **Сиромеха В. Н.** Автоматизация диспетчерского управления электроснабжением железнодорожного транспорта: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. — М., 2009. — 24 с.

Направление

ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Научный руководитель направления —
зав. каф. ИЭиОТ, д.т.н. О.Е. Кондратьева

Секция 28

ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Председатель секции — зав. каф. ИЭиОТ, д.т.н. О.Е. Кондратьева
Секретарь секции — ст. преподаватель Д.А. Бурдюков

В. В. Баранов, студент;
рук. П. В. Росляков, д.т.н., профессор. (НИУ МЭИ)

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЕРЕВОДА УГОЛЬНОЙ ТЭС С ГИДРОЗОЛОШЛАКОУДАЛЕНИЯ НА СУХОЕ ЗОЛОШЛАКОУДАЛЕНИЕ

Удаление из-под котлов, складирование и хранение золошлаковых отходов (ЗШО) является важным элементом любой угольной ТЭС. На российских ТЭС ежегодно вырабатывается 20 млн тонн ЗШО. В настоящее время в золоотвалах, которые занимают площадь свыше 28 тыс. га, накоплено 1,7 млрд тонн ЗШО.

Естественно, остро стоит вопрос об утилизации этих видов отходов ТЭС. В настоящее время на территории Российской Федерации используется около 20% ЗШО, оставшаяся часть идет в стационарные золоотвалы, емкости которых близки к своему исчерпанию. В то же время доля утилизации ЗШО в развитых странах (Германия, Китай, США и т. п.) несоизмеримо больше и достигает 48÷88%.

Одним из факторов, препятствующих утилизации ЗШО в России, является система гидрозолошлакоудаления (ГЗУ), которая в основном используется на российских угольных ТЭС [1]. Данная система не позволяет получать из ЗШО товарный продукт в виде сухой золы определенных фракций, которая достаточно широко используется в цементной промышленности, в дорожном строительстве и др.

Решить эту проблему можно за счет внедрения эффективной технологии — сухого золошлакоудаления (СЗШУ). Ее принципы заключаются в транспортировке золы и шлака сжатым воздухом, движущимся в шлакопроводах, в циклон, где они выпадают в сборный бункер, а обеспыленный воздух направляется в дымовую трубу. При реализации СЗШУ на ТЭС создается товарный продукт, который отгружается потребителю, существенно сокращается площадь золоотвалов и, как следствие, снижается вред окружающей среде.

В рамках данной работы проведена проработка и выполнение технико-экономического обоснования перевода типового энергоблока мощностью 800 МВт с ГЗУ на СЗШУ. Показано, как внедрение СЗШУ позволяет уменьшить платы за загрязнение окружающей среды и содержание золоотвалов, даны оценки срока окупаемости за счет прибыли от продажи сухой золы.

Литература

1. **Проект ИТС 38** (ИТС НДТ КТЭУ) «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии», Бюро НДТ [Электронный ресурс]: <http://www.energoatlas.ru/wp-content/uploads/2017/06/38.pdf>

*А. Д. Дмитриева, ученица 11 класса;
рук. И. М. Ладенкова, к.х.н., учитель химии;
Л. А. Герасина, методист (ГБОУ Школа № 2126 «Перово», Москва)*

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБНОСТИ К РАЗЛОЖЕНИЮ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ И БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПАКЕТОВ

Природная среда уникальна. Все, что синтезируется в естественной среде, обязательно разлагается живыми организмами, обеспечивая целостный круговорот веществ в природе. Человек в химических лабораториях синтезировал ксенобиотики — чужеродные для природы вещества. Такие вещества не имеют редуцентов, способных их разложить. К таким веществам относят полиэтилен, из которого делают современные пакеты. Обратив внимание на данную проблему, человек начал производить биоразлагаемые пакеты для хозяйственных нужд [1].

В работе была поставлена следующая цель: изучение способности к разложению полиэтиленовых и биоразлагаемых пакетов под воздействием различных факторов и веществ.

При этом ставились следующие задачи: 1. теоретическое изучение способов разложения полиэтилена, 2. теоретическое изучение видов биопластика и механизмов их разложения, 3. изучение способности к разложению исследуемых материалов через воздействие: гумусовых и перекисных соединений, агрессивных щелочных и кислотных сред, ультрафиолета, кисло-молочных сред, ферментов слюны, ферментов восковой моли (пчелиной огневки), 4. анализ полученных результатов и нахождение альтернативных путей создания и производства экопакетов.

Проделанные в работе эксперименты не дали положительных и конструктивных способов разложения. Биопакеты, продаваемые в современных магазинах, не разлагаются или частично разлагаются под действием рассматриваемых способов разложения. Они не могут быть отнесены к понятиям «био- или экопакет». В природе они разлагаются на более мелкие частицы, что превращает видимую проблему в невидимую. Последнее имеет более фатальные последствия. Альтернативой может быть производство пакетов из крахмала, гумусовых и целлюлозных материалов. Это современный вид экопакетов, но их производство может быть достаточно затратным технологическим процессом. Решением этого вопроса в настоящее время может быть производство экосумок из натуральных материалов или их производство из тканей, которые были уже использованы ранее.

Литература

1. **Миллер Т.** Жизнь в окружающей среде. I: Т. 1. Тайлер Миллер; Пер. с англ. / Под ред. Ягодина Г. А. — М.: Издательская группа «Прогресс», «Пангея», 1993. — 256 с.

Н. М. Ефанов, студ.; рук. Н. В. Озерова (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В «ЗЕЛЕНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ»

С 1 января 2017 г. вступили в силу положения ст. 80.1 Федерального закона № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», предусматривающие порядок выявления, оценки и учета объектов накопленного вреда окружающей среде. В связи с этим остро рассматривается проблема накопления и использования золошлаковых отходов.

Ежегодно в среднем образуется порядка 1,6–1,7 млн т золошлаковых отходов от наиболее типовой ТЭЦ, использующей уголь, электрической мощностью 1295/1540 МВт и тепловой мощностью 3500 Гкал/ч.

Одним из способов решения проблемы является использование золы в качестве сырья для производства строительных материалов [1, 2]. Во-первых, мы уменьшаем площади золошлакоотвалов. Во-вторых, снижаем себестоимость строительных материалов и улучшаем их свойства (табл. 1).

Таблица 1. Материалы и их свойства

Название материала	Изменение основных свойств
Золосодержащие бетоны и растворы	Повышение плотности, водонепроницаемости, коррозионной стойкости, уменьшение усадочных деформаций бетона и теплопроводности, повышение сульфатостойкости и термической трещиностойкости
Силикатный кирпич	Повышение звукоизоляции, морозостойкости
Дорожно-строительные	Удешевление подстилающих слоев
Изоляционные материалы	Улучшение паро- и гидроизоляции, защиты от коррозии, герметизации

Рассмотренные материалы могут принадлежать к категории «зеленое строительство», т.к. их производят с использованием продуктов вторичной переработки и они сами могут быть в дальнейшем вторично переработаны. Замена цемента золошлаковыми отходами в строительных материалах позволяет снизить выбросы углекислого газа.

Исследование заключается в анализе золошлаковых отходов, их пригодности для использования в качестве добавок к строительным материалам и эколого-экономической оценке эффективности их применения.

Литература

1. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Строительные материалы из отходов промышленности. Изд-во «Феникс», 2007 г.
2. Лисобой Ю. М., Озерова Н. В. Утилизация золошлаковых отходов // Сборник трудов Международной научной конференции молодых ученых и специалистов «Экология энергетики», г. Москва, НИУ «МЭИ», 23–24 ноября 2017 г.

*А. И. Гатовская; рук. С. А. Чувинова, асс.
(ГБОУ г. Москвы «Школа № 2126 «Перово»)*

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ШУМА ОТ АВТОТРАНСПОРТА

Человек в современном мире повсюду окружен различными звуками и шумами. Все сталкиваются с этим, однако не все понимают, как городской шум влияет на здоровье. Основными источниками шумового загрязнения в городе является транспорт (70–80 дБ) и промышленные предприятия (90–110 дБ).

Существуют также источники ультразвукового шума (диапазон частот от 20 до 100 кГц) — это ультразвуковое технологическое оборудование, аппаратура промышленного, медицинского и бытового назначений; и инфразвукового шума (диапазон частот от 2 до 20 Гц) — это автомобильный и железнодорожный транспорт, промышленные и вентиляционные установки. Допустимые уровни по ультразвуку на рабочих местах определены в [1] представлены в табл. 1.

Таблица 1. Допустимые уровни ультразвука на рабочем месте

Допустимые уровни на рабочем месте, дБ	В третьоктавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, кГц
80	12,5
90	16
100	20
105	25
110	31,5–100

Допустимыми уровнями инфразвука являются 105 дБ в октавных полосах 2, 4, 8, 16 Гц и 102 дБ в октавной полосе 31,5 Гц. При этом общий уровень звукового давления не должен превышать 110 дБ. [2]

Эффективными способами снижения уровня шума являются:

- строительство дорог в подземных туннелях;
- строительство противозумовых экранов вдоль автодорог;
- повышение использования шумопоглощающего дорожного покрытия;
- звукоизоляция зданий;
- совершенствование транспортных средств;
- конструирование малошумящих механизмов;
- контроль соблюдения требований к уровню шума в городе.

Литература

1. **ГОСТ 12.1.001-89** Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Ультразвук. Общие требования безопасности.
2. **СанПиН 2.2.4./2.1.8.-98** «Инфразвук на рабочих местах, жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки».

А. Н. Головтеева, студент; рук. П. В. Росляков, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ТЭС В АТМОСФЕРУ

Изучение методов снижения выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду является весьма важной и актуальной задачей. Наибольшая опасность загрязнения воздуха связана с процессами сжигания топлива на тепловых электрических станциях и в котельных [1]. В процессе разработки проектов реконструкции и модернизации котлов необходимо выполнять большое количество инвариантных расчетов по оценке снижения вредных выбросов и эффективности пыле-, газоочистки, что требует достаточно большого количества времени и вызывает неудобства.

В этой связи задачей данной работы являлось создание программного комплекса (ПК), объединяющего действующие в настоящее время методики для расчета выбросов оксидов азота (NO_x), оксидов серы (SO_x), монооксида углерода (CO), бенз (а)пирена ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$) и твердых веществ в атмосферу с уходящими газами котлов в зависимости от вида сжигаемого топлива, конструктивных и режимных параметров.

Данный ПК разработан с использованием языка программирования C++ и работает под управлением ОС серии WINDOWS — 2000/XP/VISTA/7/8/10.

В процессе разработки к создаваемому программному комплексу выдвигались следующие требования:

- унификация под систему Windows;
- дружественный и логический интерфейс;
- представление результатов в удобном табличном и графическом виде;
- защита от некорректного воздействия пользователя.

Использование данного ПК позволяет проводить анализ выбросов вредных веществ в уходящих газах котлов на конкретных предприятиях и разрабатывать эффективные методы их снижения на основе получаемых результатов с целью проектирования экологически чистого котельного оборудования и разработки проектов реконструкции. Он может успешно применяться в конструкторских бюро, на заводах и в энергетических компаниях для оценки эффективности внедряемых воздухоохраных мероприятий при разработке новых и модернизации действующих котлоагрегатов.

Литература

1. **П. В. Росляков.** Методы защиты окружающей среды: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 336 с.

С. А. Горин, студ.; рук. А. Л. Суздалева, д.б.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ МЕЖБАССЕЙНОВОГО ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Мировой кризис водопотребления прогнозируется как следствие двух тенденций глобального масштаба: сокращения мировых запасов водных ресурсов и роста общего объема водопотребления, обусловленного демографическими факторами и расширением производства. Развития его катастрофического сценария можно избежать при соблюдении комплекса условий, одним из которых является межбассейновое перераспределение водных ресурсов. Поэтому во всем мире в различных технологических исполнениях разрабатываются и осуществляется проекты по перераспределению водных ресурсов. Так, в Канаде, уже начиная с 1974 г., реализуется гидроэнергетический комплекс Ла-Гранде (проект залива Джеймс), включающий строительство каскада ГЭС 16000 МВт и переброску в р. Ла-Гранде стока крупных трех рек: Руперт (50% стока), Каниаписко (45% стока) и Истмейн с образованием 9 водохранилищ общей площадью 13506 км³. Строительство первой фазы канадского гидроэнергетического комплекса, пущенной в эксплуатацию в 1974 году, стоило 13,7 млрд долларов [1]. В СССР в 80-х годах также был разработан проект переброски части стока р. Обь от Ханты-Мансийска в Аральский регион. Проект предполагал строительство десятка насосных станций, а также ежегодный забор воды в объеме 27,2 км³ и использование 10,2 млрд. кВт час электроэнергии. Его капитальные затраты оценивались в 23 млрд долларов. Проект реализован не был. Он был признан экономически нецелесообразным и экологически опасным. А сама концепция межбассейнового перераспределения стока в нашей стране была полностью дискредитирована. Между тем, только создание природно-технических систем по перераспределению водных ресурсов позволяет минимизировать риски катастрофических наводнений и засух. А каскады ГЭС и комплексы гидротехнических сооружения могут служить экологическими регуляторами, примыкающих к ним территорий [2]. И если наша страна в кратчайшие сроки не предложит свои проекты в данной области, она будет лишена участия в перспективном сегменте международной экономики.

Литература

1. **Гидроэнергетический комплекс Ла-Гранде.** Электронный ресурс: blog.rushydro.ru (дата обращения 07.12.2017).
2. **Суздалева А. Л.** Гидротехническое строительство при организации рынка ресурсов пресной воды // Гидротехническое строительство. 2015. № 9. С. 48–54.

*А. Н. Хуснутдинов, соиск.;
рук. Л. А. Николаева д.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

ОЧИСТКА ОТ СЕРОВОДОРОДА ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ШЛАМОМ ХВО

В настоящее время активно проводится разработка методов снижения экологической нагрузки на окружающую среду с помощью вторичного использования отходов производства. Таким отходом производства является шлам осветлителей ТЭС. Использование его может быть одним из приоритетных направлений, поскольку ежегодно происходит увеличение объемов шлама. Кроме того, отечественный и зарубежный опыт показывает, что шлам осветлителей ТЭС может рассматриваться в качестве ценного сырья во многих отраслях промышленности.

В качестве одного из направлений утилизации шлама химводоочистки ТЭС может рассматриваться возможность использования его сорбционных свойств для очистки газовых выбросов промышленных предприятий [1]. В частности, удаления сероводорода. Сероводород оказывает токсическое воздействие на организм человека и является коррозионно-активным газом.

Шлам химводоочистки предлагается использовать в качестве сорбционного материала при очистке газовых выбросов от сероводорода на ОАО «Казанский завод синтетического каучука».

В докладе представлены основные результаты модельного эксперимента по скрубберной очистке газовых выбросов линии производства тиокола Казанского завода синтетического каучука. Параметры взяты из технологического регламента процесса. Рассчитаны оптимальные характеристики скруббера. В докладе так же представлена модернизированная схема очистки газовых выбросов производства тиокола от сероводорода.

Использование сорбционных свойств шлама осветлителей ТЭС с целью снижения вредных газовых выбросов позволяет решить эколого-экономические проблемы промышленных предприятий основных комплексов: топливно-энергетического и химического.

Литература

1. **Хуснутдинов А. Н., Николаева Л. А.** Снижение выбросов оксида азота при сжигании попутного нефтяного газа в энергетических котлах: сборник статей научно-практической конференции с международным участием «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность — 2017». / под ред. Ю. А. Омельчук и др. — Севастополь: СевГУ, 2017. С. 1474–1476.

*О. А. Левашова студ.;
рук. А. Л. Суздалева, д.б.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ТЕПЛОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Использование человеком все большего количества различных инженерно-технических систем неизбежно сопровождается рассеянием в окружающем пространстве тепловой энергии. По этой причине в современном мире тепловое загрязнение является одной из наиболее значимых форм воздействия на окружающую среду. Процесс изучения проблем теплового загрязнения отличается крайней неравномерностью. Например, последствия искусственного повышения температуры водных объектов осуществляется на протяжении многих десятков лет [1]. Разработаны нормативы, определяющие предельно допустимый уровень подогрева воды. Достаточно внимание уделяется тепловому загрязнению атмосферы. Тепловое же воздействие на почвенную среду практически не исследовалось. Вместе с тем, масштабы этого процесса и его экологические последствия не менее велики. С одной стороны, в почвенный покров внедряется большое количество различных источников тепловой энергии (трубопроводов, фундаментов сооружений и др.). С другой стороны, почвенная среда и обитающие в ней организмы весьма чувствительны даже к относительно небольшому изменению температуры

Состояние почвы оказывает существенное влияние на состав приземного слоя воздуха [2]. В городах повышение температуры в верхнем слое экранированных асфальтобетонными покрытиями почв может вызвать образование метана и его эмиссию в здания и сооружения. Кроме того, почвы создают условия для существования городской растительности, обеспечивают физико-химическое и биологическое поглощение загрязняющих веществ, а также формирование местообитания различных форм биоты урбанизированных территорий. Таким образом, исследование проблемы теплового загрязнения почв и разработка методов его контроля на современном этапе является одной из важных задач, решение которой необходимо для формирования на урбанизированных территориях управляемых природно-технических систем [3], обеспечивающих благоприятные условия для жизни населения и сохранения биоразнообразия городской биоты.

Литература

1. **Суздалева А. Л., Горюнова С. В.** Техногенез и деградация поверхностных водных объектов. М.: ИД «ЭНЕРГИЯ», 2014. 456 с.
2. **Добровольский Г. В.** Под ред. Деградация и охрана почв. М.: МГУ, 2002. 654 с.
3. **Суздалева А. Л.** Создание управляемых природно-технических систем. М.: ИД ЭНЕРГИЯ, 2016. 160 с.

О. А. Локтионов, студент; рук-ли О. Е. Кондратьева, д.т.н., доцент,
Д. А. Бурдюков, ст. препод. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ТЕНДЕНЦИЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ГОРОДЕ МОСКВЕ

На протяжении последнего десятилетия все большую актуальность приобретают проблемы учета климатических изменений и необходимость оценки их влияния на инфраструктуру города Москвы и здоровье населения. Каждый год ознаменован обновлением температурных рекордов и исторических максимумов, за период с 1879 по 2015 гг. средняя температура воздуха в Москве увеличилась на 4°C [1].

В работе выявлены наиболее характерные для Москвы последствия климатических изменений, такие как: уменьшение продолжительности зимнего периода; увеличение волн тепла в теплый период года; снижение количества поглощаемой солнечной радиации и увеличение числа дней без солнца; увеличение количества осадков, в том числе снегопадов и ливней; образование «островов тепла»; повышение загрязненности атмосферы.

Для оценки климатических изменений был проведен анализ статистических данных за период 2005–2015 гг. В процессе анализа рассматривались следующие факторы: количество экстремально высоких и низких температур; количество резких перепадов температуры; увеличение среднегодовой температуры; повышенный уровень загрязнения атмосферы (ИЗА); количество опасных и неблагоприятных метеорологических явлений (ОиНМЯ); количество переходов через 0°C.

Для определения численных значений анализируемых факторов было использовано «Правило трех сигм» [2], согласно которому, приблизительно с вероятностью 0,997 значения *нормально распределенной* случайной величины лежат в интервале ($\bar{x} - 3\sigma$; $\bar{x} + 3\sigma$). Наличие значения указанного фактора вне указанного диапазона трактовалось как аномалия.

Анализ многолетних статистических данных в области климатических характеристик Московского региона позволяет сделать вывод о необходимости учета влияния климатических изменений прежде всего на условия обитания биологических видов, как наиболее уязвимой к климатическим сдвигам составляющей экосистемы.

Литература

1. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2015 году» Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, Москва, 2016 г.
2. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для вузов. — 10-е издание, стереотипное. — Москва: Высшая школа, 2004. — 479 с. — ISBN 5-06-004214-6.

*Е. Е. Макарова, студ.;
рук. Е. В. Федорова, к.м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СПЕЦИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭНЕРГЕТИКИ

Специальная оценка условий труда (СУОТ) является единым комплексом последовательно осуществляемых мероприятий по идентификации вредных и (или) опасных факторов производственной среды и трудового процесса и оценке уровня их воздействия на работника с учетом отклонения их фактических значений от установленных гигиенических нормативов условий труда и применения средств индивидуальной и коллективной защиты работников. В настоящее время обязанность проведения работодателем специальной оценки условий труда определена ст. 212 Трудового кодекса Российской Федерации и Федеральным законом от 28.12.2013 г. № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда». [1]

Целью исследования является анализ данных о специальной оценке условий труда в энергетике.

Объектом анализа является крупнейшая российская энергетическая компания, основным видом деятельности которой является передача электроэнергии — ПАО «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы».

При анализе сводных данных о результатах проведения специальной оценки труда на объектах ФСК ЕЭС было установлено, что из 2875 рабочих мест, на которых проводилась СОУТ в 2016 году, 2864 (99,62%) места относятся ко 2 классу опасности условий труда, и 11 (0,38%) — к 3.1 классу. К 3.1 классу относятся условия труда работников следующих специальностей: электрослесарь по ремонту оборудования распределительных устройств (9 человек), инженер-химик (1 человек), электрогазосварщик (1 человек).

В целом, по итогам проведения СОУТ, количество рабочих мест с вредными условиями труда сократилось на 28,9% и составляет 0,4% от рабочих мест, на которых проводилась СОУТ в 2016 году.

Для рабочих мест с вредными условиями труда предложен комплекс гигиенических мероприятий, направленных на улучшение условий и охраны труда работников [2].

Литература

1. **Бадагуев, Б. Т.** Документация по охране труда в организации. — М.: Альфа-пресс, 2014. — 318 с.
2. Сводные данные о результатах проведения специальной оценки условий труда на объектах ПАО «ФСК ЕЭС» в 2016 году. URL: http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/Svod_trud_2016.pdf

*М. Р. Мангасарова, студент;
рук. В. С. Малышев, к.т.н., д.б.н. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ФАЗОВОЙ СТРУКТУРЫ РЕСПИРАТОРНОГО ЦИКЛА НА ПРИМЕРЕ ПАТТЕРНА

Паттерн респираторного цикла представляет собой результат применения быстрого преобразования Фурье к некоторой временной кривой, которая может быть получена экспериментально. В общем случае, паттерн отображает структуру цикла, состоящего из нескольких фаз: фазы вдоха, межфазовых временных отрезков и фазы выдоха. В литературе [1], как правило, отсутствуют количественные оценки этих фаз.

Для решения сформулированной таким образом задачи, было получено временное представление результатов эксперимента за период в 10 секунд. Фрагмент временной кривой показан на рис. 1.

На рисунке 1, интервал по временной оси с 5,40 по 6,36 с представляет собой фазу выдоха, тогда отрезок с 6,36 сек. по 6,56 сек. является межфазовым временным отрезком — экспираторной паузой (пауза между фазой выдоха и фазой вдоха) [2]. Последний имеет важное диагностическое значение при анализе, например, влияния воздействия воздуха рабочей зоны на состояние дыхательной системы персонала. Структура экспираторной паузы представлена на рис. 2. Аналогичным образом может быть проведен анализ полной фазовой структуры респираторного цикла.



Рис. 1. Фрагмент зависимости среднего значения АКРД по времени

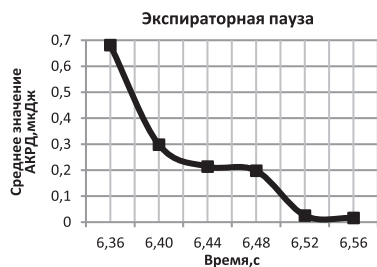


Рис. 2. Структура экспираторной паузы

В настоящее время нами прорабатывается методика экспериментальной оценки фазовой структуры при различных профессиональных заболеваниях.

Литература

1. Горячев А. С., Савин И. А. Основы ИВЛ. М.: Медиздат, 2016. — 61 с.
2. Геппе Н. А., Малышев В. С. Компьютерная бронхофонография респираторного цикла — М.: Медиа Сфера, 2016. — 108 с.

*Е. Н. Петренко, студент;
рук. А. Ю. Копнина, к.х.н, доц. (СамГТУ, Самара)*

ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕДИ ИЗ БИОМАССЫ ВЫСШИХ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ, ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ В ПРОЦЕССЕ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ

Использование высших водных растений для доочистки сточных вод приводит к образованию отходов биомассы, содержащих ценные компоненты, например тяжелые металлы (ТМ), и обладающих высокой влажностью. Для изучения возможности извлечения ТМ на примере меди был проведен ряд экспериментов с использованием Урути Мутовчатой и Элодеи Канадской.

Эксперимент был разделен на две части: исследование процесса фиторемедиации с участием Урути Мутовчатой и Элодеи Канадской; изучение процессов экстракции с целью подбора экстрагирующих веществ для извлечения меди из биомассы. Первая часть была выполнена по аналогии с экспериментами [1] в статических условиях, но при уменьшенном времени обработки: от 5 до 30 минут, соотношении массы растения к массе обрабатываемого раствора 1:40–1:50, и исходной концентрации модельного раствора — 0,5 мг/л по Cu (II) и позволила оценить эффективность фитосорбции исследуемых высших водных растений в заданных условиях. Вторая часть эксперимента представляла собой экстракцию меди (II) из растения тремя разными экстрагентами с предварительной сушкой фитомассы [2]. Для этого была составлена методика и апробированы экстрагирующих вещества: растворы соляной кислоты (0,1 н. и 0,01 н.) и раствор гидрокарбоната натрия (3,73 мг Na+/л).

Результаты проведенного исследования легли в основу разработки технологической схемы утилизации растительной биомассы, имеющей высокую влажность и содержащую тяжелые металлы, после фиторемедиации. Схема включает в себя последовательные стадии: сушка, экстракция, карбонизация, грануляция и позволяет извлекать ценные компоненты с целью повторного применения, и дает возможность вторичного использования фитомассы в виде сорбента.

Литература

1. **Копнина А. Ю., Петрова А. М., Егорова О. А.** Фиторемедиация воды с использованием урути мутовчатой и элодеи канадской [Текст]: XV международная научно-практическая конференция, апрель 2013 г., Пенза: сборник статей / М-во образования и науки РФ [и др.]; [под общ. ред. Селезнева В. А., Лушкина И. А.]. — Пенза: ПГСХА, 2013.
2. **Кузнецов А. Е.** Прикладная эковиотехнология [Текст]: учебное пособие: в 2 т. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012.

М. С. Пятак, студ.; рук. И. В. Королев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЗАНУЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Увеличение количества разнообразных электроприборов, машин и аппаратов, вызывает увеличение вероятности поражения человека электрическим током, в том числе в случае возникновения аварийных режимов, например, при замыкании на корпус токоведущих частей установок.

За последние два десятилетия доля электропоражений составила 9–11% в общем числе смертельных производственных травм, причем, основные источники и причины производственного электротравматизма не претерпели существенных изменений [1]. Это свидетельствует о том, что вопрос профилактической работы по снижению причин электротравм на предприятиях остается актуальным.

В работе анализируется зануление системы электроснабжения промышленного предприятия, соблюдающее требования нормативно-технических документов, а также обеспечивающее электробезопасность в процессе эксплуатации.

При разработке системы электроснабжения производится расчет электрических нагрузок исходя из состава и характеристик потребителей электроэнергии.

Проводится расчет системы зануления на отключающую способность. Расчет заключается в определении параметров максимальной токовой защиты, при которых ток однофазного короткого замыкания, возникающий при замыкании фазного провода на зануленный корпус, вызвал бы срабатывание максимальной токовой защиты за наибольшее допустимое время.

После разработки системы электроснабжения производится ее анализ с точки зрения безопасности человека и работы оборудования.

Предлагается оценивать зануление системы электроснабжения на промышленном объекте следующим образом:

- обеспечение безопасности человека,
- селективность автоматических выключателей

В качестве рекомендации предлагается разработка стенда «Защитное зануление» для обучения в рамках курсов «Электробезопасность» и «Безопасность жизнедеятельности»

Литература

1. Демин В. И., Седой Ю. Н., Гром Д. С. К вопросу оценки состояния электробезопасности на предприятиях // Научные труды КубГТУ. 2015. № 3.

О. А. Локтионов, В. А. Старцев, студенты (НИУ «МЭИ», Москва)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ, КАК ИНСТРУМЕНТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

На сегодняшний день проблема гармонизации интересов экономического развития и обеспечения экологической безопасности постоянно обсуждается в Российской Федерации на разных уровнях. В соответствии с Федеральным законом 7-ФЗ [1] одним из основных принципов охраны окружающей среды является организация и развитие системы экологического образования, воспитание и формирование экологической культуры.

В работе проведен анализ возможностей применения используемых на настоящий момент в России мобильных приложений в качестве инструмента формирования устойчивого экологического сознания у молодежи. Экспертная оценка проводилась по следующим параметрам: интерфейс, функционал, скорость, периодичность обновлений, наличие обратной связи. Максимально возможный суммарный балл для каждого приложения составил «5» баллов. Результаты оценки представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты экспертной оценки экоприложений

Приложение	НАША ПРИРОДА	Trash Out	Good Guide	Recycle It	Dirty Dozen	Leafsnap	Earth Now
Суммарный балл	4,3	2,5	3,2	1,7	1,7	1,3	2,2

Мобильное приложение «НАША ПРИРОДА» было признано наиболее информативным и удобным с точки зрения пользователя. Среди недостатков данного приложения отмечено: отсутствие возможности визуализации информации, размещаемой пользователем, и неполный географический охват приложения.

В результате проведенного анализа выработаны рекомендации по созданию эффективного с точки зрения вовлечения молодежи в природоохранную деятельность мобильного приложения такие, как наличие: широкого географического охвата, личного кабинета пользователя, сводки новостей, карты с объектами негативного экологического воздействия, фильтров по местоположению и сфере воздействия, стимулирующей бонусной системы для повышения активности пользователей.

Литература

1. **Федеральный закон** от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей природной среды» // Собрание законодательства РФ — № 2-2002.

*П. В. Валуев, студент;
рук. И. В. Королев к.т.н., доц. (НИУ МЭИ, Москва)*

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТРОЙСТВА AFDD+ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ПОЖАРА, ВЫЗВАННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ НЕИСПРАВНОСТЯМИ

В настоящее время неисправность электрооборудования — одна из самых распространенных причин пожаров. По данным МЧС России за девять месяцев 2017 года в РФ произошло около 95 000 возгораний, 30% которых связаны с нарушениями установки, эксплуатации, обслуживания электрооборудования [1]. Данные значения могут быть существенно снижены техническими мерами, обеспечивающими эффективное автоматическое отключение.

Пожары, вызванные горением дуги, пожалуй, самые распространенные в быту. Причины их возникновения разнообразны: переломанные провода, старение и дефекты изоляции, ослабление контактов и соединений, погнутые штепсельные вилки и кабели. Горение дуги может быть вызвано также старением оборудования, а провода, использующиеся в с/х помещениях или загородных домах, могут пострадать от грызунов [2,3].

Главная особенность дуги в неисправных кабелях в том, что ток замыкания имеет значения в пределах нормального рабочего. Это не позволяет классическим средствам защиты определять данный режим как аварийный.

В основе устройства AFDD+ лежит уникальная разработка фирмы Eaton — цифровая технология встроенной обработки токового сигнала, которая обеспечивает высокую чувствительность и точность обнаружения дуги и нечувствительна к другим сигналам — дуга сварки, работа дрелей и т. д. Прибор способен отличать аварийную пожароопасную ситуацию от других высокочастотных сигналов, вероятных в бытовых условиях.

При применении устройства AFDD+ предлагается оценивать комплексную защиту от пожаров, вызванных электрическими неисправностями, следующим образом: 1) анализ возможных аварийных ситуаций; 2) моделирование данных ситуаций; 3) анализ работы устройства AFDD+ в аварийных ситуациях.

Далее предлагается разработка стенда «Комплексная защита от пожара, вызванного электрическими неисправностями» для обучения студентов в рамках курса «Электробезопасность»

Литература

1. Сведения МЧС РФ за 2017 год URL: <http://www.mchs.gov.ru/>
2. Статья Eaton AFDD+ URL: <http://www.eaton.ru/>
3. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Издательство «Знак», 2003 г.

Н. В. Васильева, студ.;
рук. О. Е. Кондратьева, д. т. н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ СТРЕССА

Анализ причин возникновения стресса — необходимая составляющая стресс-менеджмента. В работе проведен сравнительный анализ двух основных типов методик: формализованные методики (тесты, опросники, методики проективной техники, психофизиологические методики); методики малоформализованные (наблюдения, беседы, анализ продуктов деятельности).

Фрагмент данного анализа представлен в таблице 1.

Таблица 1. Основные подходы к анализу стресса в различных отраслях

Область, в которой проводится оценка	Оцениваемые показатели	Недостатки
Органы внутренних дел (ОВД)	Опросника ОПРВ (отношение к работе и профессиональное «выгорание»). Опросник психологических защит LSI (индекс жизненного стиля) [3]	Применяются только формализованные методики
Работники ПО «ЧГЭС»	Шкала психологического стресса PSM, шкала оценки стрессогенности ПТС [2]	Применяются только формализованные методики
Работники образования	Количественный анализ (регистрация слов, движений, дополняющих речь). Физико-эргономический анализ (интеллектуальные, сенсорные, эмоциональные нагрузки, монотонность) [1]	Не учитывается психоэмоциональное состояние сотрудника

В связи с широким спектром оцениваемых показателей и профессий, необходимо разработать алгоритм оценки профессионального стресса, который позволит в разумных пределах унифицировать применяемые методики.

Литература

- А. Я. Рыжов и др.** Физиолого-гигиеническая характеристика труда преподавателей вуза // Медицина труда и промышленная экология, 2005 г. с. 36–41.
- А. С. Тимошенко** Сборник материалов международной научно-практической конференции, 2017
- И. Ю. Кобозев** Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта, журнал / вып. 4 (74) 2011, 04 мая 2011, с. 84–90.

О. А. Локтионов, Н. М. Веницкая, студенты (НИУ «МЭИ», Москва)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ НАСЕЛЕНИЯ В РОССИИ

5 января 2016 г. был подписан Указ Президента [1] об объявлении 2017 года Годом экологии в России. Данное решение вызвано очевидной для общества необходимостью акцентирования внимания на проблемах обеспечения экологической безопасности нашей страны. При этом одной из основных задач является формирование активной гражданской позиции в сфере экологии у граждан РФ, существование которой возможно только при наличии как у хозяйствующих субъектов, так и у населения, достаточного уровня знаний, информированности и способности к самостоятельной деятельности, направленной на улучшение среды обитания.

Для создания комплексной просветительской программы, позволяющей охватить максимально возможное количество людей, в работе предложено классифицировать целевую аудиторию на: экологоориентированных граждан (участников экологических движений, эковолонтеров, покупателей экотоваров); активных интернет-пользователей; резервную группу.

В работе была сформирована база данных для анализа аудитории 30 крупнейших российских экологических проектов и движений. В таблице 1 приведен пример заполнения данной базы для Всероссийского общества охраны природы.

Таблица 1. Пример заполнения базы данных

Название	Направления деятельности	Тип соц. сетей	Аудитория, чел
Всероссийское общество охраны природы (ВООП)	Оказание содействия органам государственной власти и управления в обеспечении устойчивого экологически безопасного развития страны. Экологическое образование, просвещение и воспитание населения	ВКонтакте	1948
		Фейсбук	255
		Инстаграм	154

Анализ созданной в работе базы данных показал, что аудитория крупнейших российских экологических проектов, то есть экологоориентированных граждан, в сумме не превышает 200 тыс. человек. Результаты работы определяют необходимость разработки комплекса мер, направленных на привлечение широкой целевой аудитории к экологическим проблемам нашей страны.

Литература

1. **Указ Президента РФ от 5 января 2016 г. N 7 «О проведении в Российской Федерации Года экологии»** // Собрание законодательства РФ — № 2 — 2016.

Е. А. Журавлев, аспирант; рук. Д. В. Чугунков, к. т. н. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ ШУМА И ВИБРАЦИИ В ЖИЛОМ ДОМЕ ОТ ОБОРУДОВАНИЯ ПОДВАЛЬНОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ПУНКТА

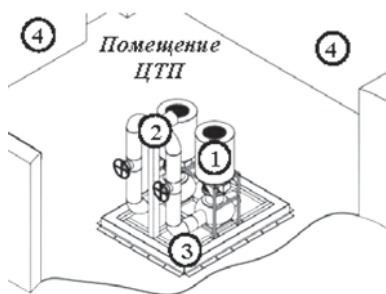


Рис. 1. Комплекс мер по снижению шума и вибрации в ЦТП:
1 — система шумоглушения насосного оборудования; 2 — оптимизирующая конструкция тройника напорной линии системы отопления; 3 — плавающий пол под опорами насосного оборудования и сопряженными трубопроводами; 4 — звукоизоляция стен и потолка

источников: насосное оборудование и участок трубопровода (тройник). Также была зафиксирована вибрация при работе насосного оборудования.

Для подавления перечисленных негативных факторов воздействия от оборудования подвального ЦТП авторами был разработан комплекс мер, позволяющий уменьшить шумовое воздействие до допустимых норм в жилых квартирах с одновременным снижением распространения вибрации по перекрытиям многоквартирного дома (рис. 1).

После внедрения описанных оригинальных конструкций и технических решений уровень шума и вибрации в жилых квартирах установился ниже предельных допустимых норм [1].

Литература

1. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. — М.: Минздрав России, 1996.

Штатная работа тепломеханического оборудования любого энергетического объекта связана с генерацией шума, который может превышать допустимые нормы. Замена оборудования является капиталоемким мероприятием, поэтому целесообразно и экономически обосновано применять конструкции и решения для снижения шума.

Настоящая работа посвящена проблеме негативного воздействия шума и вибрации на жилые квартиры от подвального центрального теплового пункта (ЦТП), располагающегося в многоквартирном доме.

По результатам акустического обследования выяснилось, что воздействие шума от рассматриваемого ЦТП складывалось от следующих основных

*Е. В. Зуева, студент;
рук. Е. В. Федорова, к.м.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ОРИЕНТИРОВОЧНЫЙ АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ТРУДА И СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ ПО ДАННЫМ СОЦИОЛОГИЧЕСКОГО АНКЕТИРОВАНИЯ

Традиционно для анализа условий труда используются данные специальной оценки условий труда [1], результаты научных гигиенических исследований. Анализ состояния здоровья работников изучается при проведении медицинских осмотров [2].

В последние годы в научно-исследовательских медико-гигиенических исследованиях внимание начали уделять результатам, полученным при социологическом анкетировании работников. Фактически посредством анкетирования возможно получить интегральный показатель состояния здоровья трудящихся на основе их личных ответов на поставленные вопросы. [3]

Организацией Объединенных Наций (ООН) введен глобальный договор на добровольной инициативе корпоративного гражданства, определяющий себя как «Стратегическая политическая инициатива для предприятий, которые привержены согласованию своих операций и стратегий с 10 общепринятыми принципами в области человеческих прав, труда, окружающей среды и борьбы с коррупцией» [4] с целью создать устойчивую и всеобъемлющую глобальную экономику, уделяя особое внимание экологическим рискам, здоровью сотрудников, и управлению.

Также необходимо учитывать экономический аспект, так как известно, что в компаниях, уровень здоровья работников которых выше, наблюдается заметный рост финансовых показателей.

Такие исследования помогают определить соматические и профессионально обусловленные заболевания, связанные с определенной сферой деятельности, трудовым стажем, влиянием окружающей среды, психофизическими и прочими факторами, влияющими на здоровье человека. Также в результате мы можем сравнить объективные результаты специальной оценки условий труда и состояния здоровья с субъективной оценкой работников.

Литература

1. **Федеральный закон** от 28.12.2013 N 426-ФЗ (ред. от 23.06.2014) «О специальной оценке условий труда»
2. **Приказ Минздравооцразвития России** от 12.04.2011 N 302н (ред. от 05.12.2014)
3. **World Economic Forum**. The Human Capital Report. Geneva, Switzerland: World Economic Forum; 2015.
4. **United Nations. Global Compact Cities Programme**. Accessed January 7, 2016.

Направление

ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ

Научный руководитель направления —
директор ИНЭИ к.т.н. А.Ю. Невский

Секция 29

ЭКОНОМИКА В ЭНЕРГЕТИКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Председатель секции — к.т.н., доц. Г.Н. Курдюкова
Секретарь секции — к.э.н., доцент А.Ю. Амелина

А. А. Аникина, студ.; рук. Н. Л. Кетоева, к.э.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННО- ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ (ИИП)

Современные методы оценки эффективности ИИП в наибольшей степени ориентированы на количественную оценку, не учитывают особенности реализации инновационных проектов на разных стадиях, а также лишены способности учитывать риски инвестирования [1].

Новизна заключается в разработке методики, которая позволит определить чистый дисконтированный доход с учетом стадийных рисков инновационного проекта. Предлагается привести денежные потоки в текущую стоимость с учетом рассчитанных коэффициентов дисконтирования и фаз жизненного цикла ИИП (формулы 1–4):

$$NPV_1 = \sum_{t=1}^n \frac{A_1 + A_2 + A_3 + B_1 + B_2 + C_2}{(1 + i_{\text{инновационный риск}})^t} \quad (1)$$

$$NPV_2 = \sum_{t=1}^n \frac{B_3 + B_4 + B_5 + B_6 + B_7 + B_{10} + C_1}{(1 + i_{\text{технично-технологический риск}})^t} \quad (2)$$

$$NPV_3 = \sum_{t=1}^n \frac{C_3 + C_4 + C_5}{(1 + i_{\text{коммерческий риск}})^t} \quad (3)$$

$$NPV_4 = \sum_{t=1}^n \frac{B_8 + B_9 + B_{11} + B_{12} + B_{13} + D_1 + D_2 + D_3 + D_4}{(1 + i_{\text{финансовый риск}})^t} \quad (4)$$

где A, B, C, D — виды денежных потоков ИИП с учетом стадии жизненного цикла; $t (1; n)$ — общее число оцениваемых рисков ИИП; i — коэффициент дисконтирования (формула 5):

$$i = S + \sum_{t=1}^n P_t \quad (5)$$

где S — ставка без учета факторов риска; P_t — премия за каждый из перечня рисков.

Эффективность разработанной методики была доказана при оценке ИИП ООО «База мебельная комплектация». В работе было проведено сравнение показателей NPV, рассчитанных по новой методике и по классической методике, основанной на расчете общей ставки дисконтирования для всего проекта в целом [1]. Результатом проведенных расчетов прогнозных значений ИИП является увеличение суммы общих эффектов от проекта на 42,7%, а прогнозной величины NPV на 63,83%.

Применение предложенной методики приведет не только к повышению точности расчетов, но и к дальнейшей разработке комплекса мероприятий для снижения рисков на каждой стадии реализации ИИП, благодаря чему уменьшится неопределенность в отношении принятия решения об инвестировании и дальнейшем осуществлении инновационного проекта.

Литература

1. **Байгузина Л. З.** Управление инвестиционным портфелем предприятия: учеб. пособие. — Уфа: БАГСУ, 2013.

К. А. Аверкиева, студ.;
рук. В. В. Черненко, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ», Смоленск)

ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСНОВНЫХ СРЕДСТВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

На современном этапе развития экономики повышение эффективности использования основных средств занимает ключевое место в хозяйственной жизни экономических субъектов независимо от их организационно-правовой формы и формы собственности [1].

На современных предприятиях распространены проблемы незадействованных в производственном процессе числящихся на балансе основных средств или неполной загрузки эксплуатируемых производственных мощностей, что отрицательно сказывается на их финансово — хозяйственной деятельности. ООО «Евродверь» занимается производством дверей из дерева. На данный период пресс для дверей и форматно — обрезной станок изготавливают по 350 единиц продукции за одну смену. Продолжительность смены равна 10 часам. Но при этом паспортная производительность каждого из этих оборудований равна 450 единиц продукции в день. Продолжительность смены равна 10 часам. Для того, чтобы узнать на сколько данное предприятие использует производственную мощность каждого из станков воспользуемся коэффициентом интенсивности, который находится по следующей формуле:

$$K_{\text{инт.}} = \frac{\Phi_{\text{произв.}}}{P_{\text{произв.}}} \quad (1)$$

где $\Phi_{\text{произв.}}$ — фактическая производительность оборудования; $P_{\text{произв.}}$ — плановая производительность оборудования (по паспорту).

Отсюда следует:

$$K_{\text{инт.}} = \frac{350}{450} = 0,78 = 78 \%$$

Таким образом, ООО «Евродверь» использует производственную мощность своего оборудования лишь на 78%. Это означает, что на производстве существуют простои. Это отрицательно сказывается на производительности труда, а также увеличивают себестоимость продукции.

Для решения данной проблемы необходимо увеличить смену не менее чем на 2 часа. В итоге предприятие получит увеличение производительности продукции, а также существенно сэкономит на приобретении нового оборудования.

Литература

1. **Тимошенко В. С.** Сущность и проблемы использования основных средств / В. С. Тимошенко // Экономика, социология и право. — 2016. — № 24. — С. 77–80.

Е. В. Богачева, студ.; Е. Я. Синицына, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СТРОИТЕЛЬСТВО МИНИ-ЗАВОДА ПО ПРОИЗВОДСТВУ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ОБЪЕМА ПРОИЗВОДСТВА, ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

В настоящее время российский рынок металлопродукции подвержен воздействию отдельных факторов риска. Одним из самых существенных факторов риска считается ослабление рубля и общая неопределенность перспектив национальной валюты [1]. Другим важным фактором является политическая напряженность на мировой арене и введение санкций со стороны Запада. Еще один фактор — смещение спроса на рынке металлопродукции в сторону более «узкой специализации» и расширения номенклатуры, что в условиях комбинатов, и массового производства является неэффективным и экономически не целесообразным. [2]

С другой стороны, государственная поддержка автомобилестроительной и строительных отраслей, значительные ассигнования на оборонные заказы, снижение ставок на ипотечные кредиты дает возможность говорить о том, что в ближайшие 3 года спрос на металлопродукцию если не будет расти на внутреннем рынке, то точно не будет падать.

Широкое распространение в мире и достаточно высокий интерес к высокотехнологичным мини-заводам в РФ обусловлены следующими факторами: небольшие первоначальные инвестиции на запуск завода, экологичность и появление локальных быстрорастущих рынков. [4]

Для ЗАО «ТФД «Брок-Инвест-Сервис и К» инвестирование в мини-завод по производству металлопродукции весьма перспективно и целесообразно. Данные инвестиции дадут возможность расширить номенклатуру предлагаемой продукции, оптимизировать свои издержки, расширить рынки сбыта, не только удержать своих старых, но и привлечь новых клиентов. [3]

Это будет способствовать с одной стороны повышению результатов финансово-хозяйственной деятельности, а с другой стороны повышению конкурентоспособности предприятия.

Литература

1. **Приказ Минпромторга РФ** от 18.03.2009 № 150 «Об утверждении Стратегии развития металлургической промышленности России на период до 2020 г.».
2. **Бланк И. А.** Инвестиционный менеджмент. — Киев: Итем Лтд, 2015. — 401 с.
3. **ЗАО «ТФД «Брок-Инвест-Сервис и К»** [Электронный ресурс]. Официальный сайт <http://www.brokinvest.ru/>
4. **Анализ рынка металлопродукции** [Электронный ресурс] <http://www.metalinfo.ru/ru/news>.

*А. О. Бураевская, студ.;
рук. Т. Ю. Киселева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ОТРАСЛЕВЫХ ИНДЕКСОВ КАК ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Выбор объекта для инвестирования является одной из главных задач потенциальных акционеров. Перед выявлением компании как объекта инвестирования для долгосрочного вложения необходимо провести фундаментальный анализ. Этап, предшествующий выбору и анализу компании, основан на анализе отраслей, поэтому актуален расчет отраслевых индексов — агрегированных показателей динамики акций различных секторов экономики, который позволяет в определенной степени предвидеть, в каком направлении следует ожидать развития данного рынка [1].

При формировании отраслевых индексов учитываются макроэкономические факторы, которые представляют внешнюю среду по отношению к отрасли. Анализ индексов строится и на оценке внутренних показателей отрасли.

Для обоснования выбора отрасли для инвестирования на каждом этапе фундаментального анализа был рассчитан средний коэффициент корреляции (k) с 2012 по 2016 г. для выявления факторов, значительно влияющих на котировку индексов.

В процессе анализа внешних факторов было определены наиболее зависимые отрасли: нефтегазовая и химическая. С макроэкономическими показателями они имеют коэффициенты корреляции 80% и 82% соответственно. Нефтегазовая отрасль значительно зависит от фондового рынка США ($k=80\%$). Данные отрасли сильно коррелируют с индексом ММВБ со значением 88% и 89% соответственно. Также между этими отраслями наблюдается сильная зависимость ($k=92\%$).

Внутренние факторы оценены в соответствии со спецификой отраслей. Так, нефтегазовый сектор имеет высокую корреляцию с объемом добычи ($k=79\%$) и поставкой нефти на экспорт ($k=94\%$).

Нестабильность отраслей отражает показатель колебаний — коэффициент осцилляции. Для этих отраслей он довольно высок: химическая отрасль — 0,98, а нефтегазовая — 0,79.

Система отраслевых индексов способствует точному определению направлений инвестиций, выбору объекта инвестирования и предопределяет их вероятную эффективность.

Литература

1. [Электронный ресурс]. URL: www.moex.com. Официальный сайт Московской биржи.

Н. А. Бурмистрова, студ.;
рук. Е. В. Шуринова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ДИВИДЕНДНАЯ ПОЛИТИКА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА РЫНОЧНУЮ СТОИМОСТЬ КОМПАНИИ «ФСК ЕЭС»

На современном этапе развития наиболее значимым фактором увеличения инвестиционной привлекательности компании является эффективная дивидендная политика.

Важнейшей задачей дивидендной политики является оптимальное сочетание текущих интересов акционеров с необходимостью достаточного финансирования развития предприятия, чтобы удовлетворить стратегические интересы акционеров. Чем большая часть чистой прибыли направляется на выплату дивидендов, тем меньшая часть остается на самофинансирование [1].

В нашем примере увеличение чистой прибыли ФСК ЕЭС в 2016 г. привело к увеличению дивидендных выплат, которые составили 18 184 825 тыс. руб. Это означает, что компания «ФСК ЕЭС» решила привлечь к себе тактических акционеров, за счет увеличения размера дивидендов.

Однозначно дивидендная политика влияет на привлекательность ценных бумаг компании для потенциальных инвесторов. Расчеты таких показателей, как DPS (0,0285), DPR (0,17), покрытие дивидендов (5,83), коэффициент P/E (1,22) свидетельствуют об устойчивости предприятия на рынке, а также насколько высокими будут доходы акционеров от дивидендов.

В нашем примере регулярная выплата дивидендов способствует комфорту инвесторов и росту рыночной стоимости компании. Чаще всего стоимость публичной компании определяется с помощью ее рыночной капитализации. Данный показатель прямо пропорционален изменению котировок акций компании. Следовательно, благодаря увеличению дивидендных выплат акции компании ФСК ЕЭС стали привлекательнее на рынке и выросли в цене на 0,0167 (на 11% за период: 29.06.16–29.07.17) [2]. Согласно этому изменению, капитализация компании также выросла на 11% и составила 108155353 тыс. руб. Рассчитанный коэффициент корреляции, который составил 0,8509 указывает на сильную и стогую зависимость между размерами дивидендных выплат и рыночной капитализацией.

Вывод: Руководство ПАО «ФСК ЕЭС» выбрало правильную стратегию в оптимизации дивидендной политики, ориентированную на соблюдение интересов акционеров и рост стоимости компании.

Литература

1. **Никитушкина И. В.** Корпоративные финансы. М.: Юрайт, 2017.
2. **Московская Биржа.** URL: <https://www.moex.com/2017>.

В. А. Дмитрик, студ.;
рук. Н. Л. Аграпонова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ДИСТРИБУЦИИ ИЗОТОПНОЙ ПРОДУКЦИИ ОАО «В/О ИЗОТОП»

Одним из стратегических направлений атомной промышленности является рынок изотопной продукции. Ключевым дистрибутором изотопной продукции в России является ОАО «В/О Изотоп». [2]

Система дистрибуции является важным элементом хозяйственной деятельности предприятия. Анализ оценки эффективности дистрибуции изотопной продукции в настоящее время актуален, так как в связи с расширением производственных мощностей среди производителей изотопной продукции, необходимо качественно оценить эффективность работы сети дистрибуции для поиска новых возможностей сбыта.

В процессе исследования проблемы выявлено отсутствие сформированной методики для проведения данного анализа. В результате изучения работ зарубежных и российских исследователей, на примере ОАО «В/О Изотоп» автором разработана методика анализа эффективности дистрибуции изотопной продукции.

В качестве основополагающего метода оценки системы дистрибуции использован метод WFM-анализа. В этом методе оцениваются три базовых показателя: широта ассортимента (W), частота закупок (F), объем продаж (M). [1] Данный метод преобразован в соответствии с особенностями рынка изотопной продукции и испробован на примере ОАО «В/О Изотоп». Структура оценки WFM-показателей представлена в таблице 1.

Таблица 1. Бальная оценка WFM-показателей

Клиент	Данные для расчета параметров WFM			Баллы			Итого баллов за i год (WFM)
	Кол-во позиций в заказах за i год (W)	Кол-во заказов за i год (F)	Продажи за i год, руб (M)	Широта ассортимента (W)	Частота закупок (F)	Объем продаж (M)	

Разработанная методика позволяет оценить эффективность работы системы дистрибуции в динамике по годам для всех ключевых покупателей, способствуя поиску новых возможностей по поддержанию конкурентоспособности организации в долгосрочной перспективе.

Литература

1. **Сорокина, Т. И.** Система дистрибуции. Инструменты создания конкурентного преимущества / Т. И. Сорокина — М.: Интеллектуальная Литература, 2015. — 150 с.
2. **Официальный сайт ОАО «В/О Изотоп»** [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.isotop.ru/>. — О Компании. — (Дата обращения: 17.10.2017).

Д. А. Дубов, студент; рук. Е. М. Табачный, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Информационная логистика предприятия — часть логистической системы предприятия, осуществляющая информационное обеспечение управления потоками данных, сопровождающими материальные потоки при их перемещении во времени и пространстве. Фактически, речь идет о ключевом связующем звене между снабжением, производством, сбытом и другими процессами, формирующими деятельность предприятия [1].

Ключевая проблема предлагаемых рынком информационных логистических систем заключается в несоответствии их функционала потребностям конкретного предприятия. Тем не менее, эти системы могут дорабатываться в соответствие с требованиями организации [2].

В работе представлена разработанная методика построения информационных логистических систем, которая апробируется на примере оптовой компании.

В качестве критериев оценки эффективности построения информационных логистических систем выступают:

- Степень соответствия функций разработанной информационной системы требованиям конкретного предприятия, обусловленным особенностями бизнес-процессов предприятия;
- Минимальная совокупная стоимость создания и функционирования разработанной информационной системы.

Рассмотрены три ситуации разработки информационной системы:

1. Покупка необходимых фирме модулей существующего на рынке готового программного продукта и их интеграция в информационную логистическую систему силами поставщика.
2. Разработка структуры информационной логистической системы конкретного предприятия на базе построения его бизнес-модели.
3. Создание программного продукта «Информационная логистическая система» предприятия путем заимствования функциональных модулей существующего на рынке программного обеспечения и доработки его под требования предприятия.

По итогам можно сделать вывод о необходимости комплексной оценки информационных логистических систем с учетом всех выявленных факторов.

Литература

1. **Ардатова М. М.** Логистика в вопросах и ответах: Учеб. пособие. — М.: ТК Велби, издательство Проспект, 2010. — 272 с.
2. **Дыбская В. В.** Логистика: Учебник / В. В. Дыбская, Е. И. Зайцев, В. И. Сергеев, А. Н. Стерлигова; под ред. В. И. Сергеева — М.: Эксмо, 2010. — 944 с.

К. И. Гиззатуллина, студ.;
рук. И. К. Будникова, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

СКОРИНГОВЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КРЕДИТНОГО РИСКА

В последнее время в России наблюдается активный рост рынка кредитования, как корпоративного, так и розничного. Кредитование физическим потребителям становится одним из наиболее динамичных направлений развития банковского сектора. Это приводит к увеличению кредитных рисков банковской системы, поэтому качество управления кредитными рисками в розничном кредитовании приобретает особую актуальность [1].

Программа развития цифровой экономики в России до 2035 г. определяет основные направления государственной политики РФ в целях соблюдения национальных интересов и реализации национальных приоритетов [2].

Реализация программы «Цифровая экономика» выдвигает к банковской системе ряд требований, в том числе:

- расширение возможностей в организации онлайн кредитования;
- повышения надежности и снижения вероятности риска.

В процессе предоставления кредита банки заинтересованы в изучении платежеспособности будущего потребителя кредита. Основным методом кредитного скоринга — анкетирование клиентов.

В данном исследовании автором обработан большой объем статистического материала, на основании которого предложен оптимальный вариант скоринговой карты. Для АКБ «Энергобанк» в тестовом онлайн- режиме проверена работа карты.

Построение скоринговой модели ведется с использованием пакета Statistica от StatSoft, в котором представлен широчайший выбор алгоритмов прогнозирования, классификации, кластеризации и моделирования, включая продвинутые инструменты Data Mining.

Выполнено прогнозирование кредитоспособности клиентов, по результатам анкетирования, с помощью деревьев регрессии и классификации, сформулированы рекомендации по снижению гипотетического риска.

Литература

1. **Эйтшгтон В. Н., Анохин С. А.** Прогнозирование банкротства: основные методики и проблемы. М.: ИНФРА-М, 2007.
2. Развитие цифровой экономики в России. Программа до 2035 года. [Электронный ресурс], URL: <http://spkurdyumov.ru/uploads/2017/05/strategy.pdf>.

К. А. Гобан, студ.; рук. Н. Л. Аграпонова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОКАЗАТЕЛЬ СРЕДНЕВЗВЕШЕННОЙ СТОИМОСТИ КАПИТАЛА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПАО «МОБИЛЬНЫЕ ТЕЛЕСИСТЕМЫ»

Важнейшим звеном любой корпорации, без которого она не сможет осуществлять свою деятельность, является капитал. Как правило, крупные компании имеют в составе капитала несколько видов собственных и заемных источников, привлекаемых на разных условиях. Для определения стоимости всего капитала корпорации используют метод средней взвешенной. В качестве весов принимаются доли каждого источника в совокупном капитале компании, рассчитанные по балансовым или рыночным оценкам. А в качестве стоимостей источников капитала могут быть использованы фактические, текущие и предельные значения [1]. Итак, на примере ПАО «МТС» [2] рассмотрим влияние показателя WACC, или, как говорилось выше, средневзвешенной стоимости капитала, за 2015–2016 гг.

В качестве исходных данных использовались размер собственного капитала, кредита, облигаций и активов. С собственным капиталом связан показатель CAPM, который вырос с 6,68 до 8,41%. Банковская ставка, связанная с категорией кредита в формуле WACC, снизилась с 16,5 до 15%. Купонная ставка также упала с 10 до 9% в среднем за год. Ставка налога на прибыль соответствует законодательно установленной норме, т. е. 20%. Таким образом, средневзвешенная стоимость капитала составляет 6,12%, и 5,79% в 2015–2016 гг. соответственно. Из расчетов видно, что показатель WACC снизился на 0,33%. Это свидетельствует об аналогичном снижении средней платы ПАО «МТС» за все источники финансирования. Иными словами, сокращение данного показателя оказывает положительный эффект на такой важный компонент бизнеса как цена капитала.

Руководство ПАО «Мобильные ТелеСистемы» выбрало оптимальную стратегию, повысив эффективность управления стоимостью капитала компании путем уменьшения показателя средневзвешенной стоимости капитала на 0,33%.

Литература

1. **Никитушкина И. В.** Корпоративные финансы: учебник для академического бакалавриата / И. В. Никитушкина, С. Г. Макарова, С. С. Студников; под общ. ред. И. В. Никитушкиной. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2016. — 521 с. — Серия: Бакалавр. Академический курс.
2. Официальный сайт ПАО «МТС» — Электронный ресурс: <http://www.company.mts.ru/>, 2017

В. А. Голубцова, студ.;
рук. В. Е. Озерова, ст. пр. (НИУ МЭИ, Смоленск)

СОКРАЩЕНИЕ РИСКОВ НЕВОЗВРАТА ДЕБИТОРСКОЙ ЗАДОЛЖЕННОСТИ

Осуществление экономическими субъектами расчетных операций приводит к образованию дебиторской и кредиторской задолженности. Дебиторская задолженность — это задолженность юридических и физических лиц перед данным экономическим субъектом, а кредиторская, наоборот, задолженность данного экономического субъекта перед другими.

Нами изучена проблема успешного функционирования экономического субъекта ООО «Энергия чистоты». Для этого необходимо постоянно осуществлять работу с дебиторской задолженностью, наблюдать за ее качеством и соответствие компонентов.

Увеличение дебиторской задолженности в ООО «Энергия чистоты» может привести к финансовому краху экономического субъекта, в связи с чем бухгалтерская служба должна организовать надлежащий контроль ее состояния, что позволит обеспечить своевременное взыскание средств, составляющих дебиторскую задолженность [1].

Чтобы сократить дебиторскую задолженность, необходимо проверять потенциальных клиентов и ставить четкие условия оплаты в контрактах и договорах. В связи с этим нужно разработать внутренний механизм надежных контрагентов. Нами предложено использовать программные продукты, разработанные фирмой 1С [2]:

1. 1С: Контрагент — быстрая проверка данных о контрагентах, автоматическое заполнение реквизитов контрагентов во всевозможных документах и другие не менее важные функции. «Досье контрагента» — отчет со сведениями, необходимыми для оценки надежности контрагентов, в том числе информация о проверках государственными органами.
2. 1СПАРК Риски — дает пользователям возможность управлять налоговыми рисками и в комплексе оценивать надежность контрагентов. Обслуживание предназначено для руководителей экономического субъекта и лиц, принимающих важные решения, бухгалтеров, менеджеров по продажам, специалистов финансовых служб и др.

Данные программы позволят ООО «Энергия чистоты» определить ненадежных контрагентов и работать с ними на условиях полной предоплаты или коммерческого кредитования.

Литература

1. **Кобелева С. В.** Дебиторская задолженность: возникновение, анализ и управление // Территория науки. 2015. № 2.
2. Портал информационно-технологического сопровождения. — URL: <https://portal.1c.ru/applications/3>

Ю. А. Гринчук, студ.; Е. Ю. Абрамова, доц., к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КПЭ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОТРАСЛЕВОМ РЫНКЕ

В условиях ограниченности собственных ресурсов предприятия нуждаются в денежных поступлениях от инвесторов, которые будут служить необходимым дополнением к их собственным средствам. Именно поэтому на современном этапе возрастает актуальность исследований и практических разработок в оценке инвестиционной привлекательности хозяйствующего субъекта.

Инвестиционную привлекательность можно представить, как совокупность свойств объекта инвестирования, позволяющая инвестору в результате осуществления инвестиций в данный объект с наибольшей вероятностью и полной достичь своей цели. [1]

В настоящее время применяются следующие методы оценки инвестиционной привлекательности «нормативно-правовой подход», метод дисконтированных денежных потоков, семифакторная модель оценки инвестиционной привлекательности, интегральная оценка инвестиционной привлекательности на основе внутренних показателей, комплексная оценка инвестиционной привлекательности предприятия [2]

Проанализировав их, можно сделать вывод, что использование различных методик приводит к получению неоднозначных результатов. Ни в одной из рассмотренных методик не делается акцент на рыночные факторы, а также не учитывается зависимость инвестиционной привлекательности предприятия от привлекательности страны, региона и отрасли, в которой оно работает. Стоит отметить, что в области изучения инвестиционной привлекательности предприятия до сих пор не существует единого метода, который содержал бы обязательный перечень показателей, и позволял однозначно охарактеризовать полученные результаты.

Решением данной проблемы может служить разработка системы ключевых показателей эффективности для оценки инвестиционной привлекательности предприятия, действующего на конкретном отраслевом рынке. Это позволяет учесть факторы специализации рынка и показатели охвата рынка конкретным производителем, что влияет на инвестиционную привлекательность и дает более точную оценку эффективности инвестирования в конкретную организацию выбранной отрасли.

Литература

1. **Е. В. Смирнова, М. Ю. Жуков** «Методика оценки инвестиционной привлекательности» 2013 г.
2. **Васильцова А. М.** «Сравнительный анализ трактовок и методик оценки инвестиционной привлекательности предприятия» // Экономика и менеджмент инновационных технологий. 2013

Н. М. Губочкин, студ.; рук. Д. А. Фрей, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТОВ ПО УПРАВЛЕНИЮ КЛИМАТИЧЕСКИМИ РИСКАМИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОЙ КОМПАНИИ

Изменение климата стало реальной угрозой безопасности в современном мире. Стихийные природные явления несут все более высокие риски для инфраструктуры городов, в том числе энергетики [1].

К возрастающей нестабильности климата необходимы заблаговременные и оперативные меры адаптации для защиты от последствий климатических изменений. Защита населения и природных сред должна обеспечиваться через бюджеты городов, адаптация энергетического комплекса к климатическим воздействиям обеспечивается из прибыли предприятий или за счет инвестиционных программ. Климатические воздействия могут быть оценены как риски. Мероприятия по управлению климатическими рисками должны быть включены в инвестиционные программы предприятий, для выбора таких мероприятий требуется оценка их экономической эффективности.

Оценка воздействия климатических рисков и эффективности мероприятий по управлению такими рисками требует разработки инструментов, учитывающих отраслевые особенности предприятий.

Для оценки ущербов климатических рисков электросетевых компаний разработаны показатели оценки стоимости ущербов по укрупненным расценкам организаций, производящих аварийно-восстановительные работы. Разработанные показатели отличаются от нормативных показателей Минэнерго РФ и нормативных показателей ФСК ЕС.

В ходе работы определена стоимость ущербов на ЛЭП и подстанциях, величины капиталовложений в трех вариантах адаптации. Экономически эффективным можно признать только вариант превентивной замены аварийных опор и проводов: предотвращаемый ущерб превышает капиталовложения в адаптацию на 10% за расчетный период.

На основании получаемых научных прогнозов об опасных погодных явлениях электросетевые компании на стадии формирования инвестиционных программ должны предусматривать мероприятия по управлению климатическими рисками в виде программ по замене устаревших и предаварийных компонентов электросетевого хозяйства.

Литература

1. Отчет по НИР «Разработка научно-обоснованного комплекса мер по адаптации к изменению климата, включая меры в области снижения выбросов парниковых газов», Регистр.№ ЦИТИС АААА-А16-116120910043-0, 2017.

А. В. Ипатова, студ.; рук. А. Б. Кознов, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

Все предприятия в той или иной степени связаны с инвестиционной деятельностью (ИД). ИД — вложение инвестиций и осуществление практических действий в целях получения прибыли или достижения иного полезного эффекта (ФЗ «Об инвестиционной деятельности») [2].

В 2014 г. Россия, впервые за последнее десятилетие, не вошла в рейтинг 25 стран, являющихся самыми привлекательными для прямых инвесторов в Мире. [1] В первом полугодии 2017 г. наблюдается восстановление объема иностранных инвестиций (табл. 1).

Таблица 1. Прямые иностранные инвестиции в экономику РФ (млрд долл. США)

	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	1 полугодие 2017 г.
Банки	5,08	7,79	9,16	4,39	0,59	1,61	0,7
Иные	50	42,8	60,06	17,64	6,26	31,37	13,45
ИТОГО	55,08	50,59	69,22	22,03	6,85	32,98	14,15

С формированием благоприятного режима для инвестирования, объем вложений начинает расти, для модернизации отечественной экономики путем увеличения объема инвестиций данная тема является актуальной. Объектом исследования является инвестиционная деятельность организации, целью — исследование критериев эффективности инвестиционной деятельности организации, а предметом — проблемы повышения эффективности инвестиционной деятельности.

Индекс прибыльности инвестиций определяется соотношением:

$$PI = NPV/I, \quad (1)$$

где NPV — чистая текущая стоимость проекта, I — вложения

Инвестиционная стратегия является одним из определяющих факторов успешного и эффективного развития предприятия. В работе исследуются критерии и возможности проведения более эффективной стратегии организации. Прорабатывается методика оценки эффективности инвестиционной деятельности организации.

Литература

1. [Электронный ресурс]. URL: <https://promdevelop.ru>. Статья: Иностранные инвестиции в экономике России — современный этап и перспективы.
2. Подшиваленко Г. П., Лахметкина Н. И. Инвестиции. М.: КНОРУС, 2009.

Ю. П. Кобзева, студ.;
рук. И. С. Андрюшина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ СИМБИОЗА ТЕХНИЧЕСКОГО И ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО АНАЛИЗА АКЦИЙ НА РАЗВИВАЮЩИХСЯ РЫНКАХ КАПИТАЛА

Для прогноза будущей цены ценной бумаги потенциальный инвестор (финансовый аналитик) проводит технический и/или фундаментальный анализ. Эти виды анализа различны, но одновременно могут дополнять друг друга.

В России трейдеры отдают свое предпочтение именно техническому анализу. Принято считать, что котировки уже содержат информацию об экономике в целом и не имеет смысла прибегать к трудоемкому процессу фундаментального анализа. На развитых рынках капитала это близко к истине. На развивающемся российском рынке существуют особенности: высокая доля государственных ценных бумаг, а также в обороте биржи определяющую роль играет небольшое число крупных корпораций — «голубых фишек», акции которых котируются и на зарубежных биржах. [1]

Отсюда вытекает, что ценовые колебания на российском рынке ценных бумаг сильно зависимы от макроэкономической ситуации и, следовательно, для принятия решения об инвестировании следует опираться на симбиоз фундаментального и технического видов анализа.

Прокомментируем последнее положение на примере ПАО «ЛУКОЙЛ». Согласно техническому анализу акции компании на данный момент имеют повышающийся тренд. Большинство сигналов осцилляторов акции Лукойла свидетельствуют о росте. За последние 3 года стоимость акции на рынке выросла на 37% и продолжает расти.

Проведенный автором фундаментальный анализ демонстрирует что, несмотря на рост дивиденда на одну акцию, чистая прибыль компании за последние 3 года упала на 52% [2]. Дивидендная доходность также падает и на конец 2016 года составила 7%. Коэффициент P/E высок и с 2014 по 2016 г. составил 7, 10 и 12 соответственно. Это свидетельствует о переоцененности акций в текущий момент и возможности скорого падения цены.

Таким образом, по результатам технического анализа акции компании выглядят привлекательными, чего нельзя сказать, используя фундаментальный анализ. Опираясь только лишь на технический анализ, инвесторы несут риски, инвестируя капитал в акции данной компании.

Литература

1. Джек Д. Шваргер Технический анализ: Полный курс. — М.: Альпина Диджитал, 2017.
2. Официальный сайт ПАО «ЛУКОЙЛ». URL: <http://lukoil.ru>.

Ю. Э. Корчевая, студ.; рук. Д. А. Фрей, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА КОНТРОЛЯ НАД РЕАЛИЗАЦИЕЙ ПРОЕКТА С ПОМОЩЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ОСВОЕННОГО ОБЪЕМА

В настоящее время в инновационно-ориентированной экономике управление проектами напрямую связано с качеством методологического инструментария и средствами контроля над проектом в ходе его реализации. Метод, принятый к рассмотрению — Метод освоенного объема (англ. Earned Value Management)

В ходе исследования произведен расчет детальных отклонений по бюджету проекта (CPI), отклонений по индексу использованного времени (SPI) и других показателей по проекту (Таблица 1).

Таблица 1. Результаты расчета показателей по проект

Обозначение	Название	Полученное значение	Вывод
CV	Cost Variance — отклонение по стоимости	+1.3 млн руб	Положительное значение — экономим бюджет
SV	Schedule Variance — отклонение от календарного плана	-2 млн руб	Отрицательное значение — отстаем от план. сроков
CPI	Cost Performance Index — индекс отклонения по стоимости	0,82	Значение меньше 1 — превышаем бюджет
SPI	Schedule Performance Index — индекс отклонения от календарного плана	0,66	Значение меньше 1 — отстаем от базового графика

На основании результатов получены сведения о состоянии проекта через оценку объема его выполнения и спрогнозированы ситуации, которые могут негативно повлиять на его своевременное окончание, оценено состояние портфеля проекта, выявлены риски превышения полного первоначального бюджета отдельных работ и бюджета проекта в целом. Выданы рекомендации к усовершенствованию механизма по повышению эффективности реализации и управлению проектом.

Для удобства расчета показателей по Методу освоенного объема использовано программное обеспечение по управлению проектами — Microsoft Project (MPS) и ProjectProfiler 4.

*А. А. Кутейникова, студ.;
рук. В. Е. Озерова, ст. пр. (НИУ «МЭИ», Смоленск)*

ФОРМИРОВАНИЕ ФИНАНСОВОГО РЕЗУЛЬТАТА ОРГАНИЗАЦИИ

Современная экономическая ситуация требует более достоверного определения финансовых результатов деятельности торговой организации. Предъявляются более высокие требования к их анализу, изменяя и дополняя традиционные подходы. А поскольку анализ финансово-хозяйственной деятельности базируется на данных бухгалтерского учета, то значение правильного и достоверного определения финансового результата повышается. Конечным финансовым результатом деятельности торговой организации является прибыль или убыток [1].

Проанализировав деятельность организации АО «Смоленск-Лада», нами установлено, что анализ финансовых результатов в ней должен вестись не только путем сравнения фактически достигнутых результатов с показателями за аналогичный период прошлых лет, но также путем проведения более углубленного исследования, целью которого является определение и количественная оценка влияния на прибыль отдельных факторов.

На основе взаимосвязи суммы прибыли торговой организации АО «Смоленск-Лада» с объемом товарооборота, валовым доходом (торговыми надбавками) и издержками обращения можно выделить роль отдельных факторов ее формирования и обеспечить эффективное управление этим процессом. Изменяя значение одного из показателей этой взаимосвязи, разрабатываются хозяйственная стратегия предприятия на планируемый год.

Более того, предприятие для получения необходимой суммы прибыли одновременно проводит мероприятия по увеличению объема товарооборота, изменению торговых надбавок (ценовая политика), уменьшению издержек обращения, выбирая для себя наиболее приемлемый вариант [2].

Таким образом, необходимо проводить анализ прибыли от реализации товаров АО «Смоленск-Лада» от изменения объема товарооборота, среднего уровня валового дохода и среднего уровня издержек обращения. Проводить планирование прибыли на основе метода целевого планирования.

Литература

1. **Антонова Н.В.** Аудит учета финансового результата и распределения прибыли — Москва: Огни, 2017.
2. **Центр раскрытия корпоративной информации**, 2017. — <http://www.e-disclosure.ru/portal/company.aspx>.

А. О. Кутузова, студ.; рук. В. К. Лозенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КОМПЛЕКСНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ ПО МЕНЕДЖМЕНТУ

Обеспечение надежности и безопасности работы системы энергоснабжения России напрямую связано с устранением текущего уровня износа основных производственных фондов (ОПФ). Так, уровень износа ОПФ в сфере теплоэнергетики достигает 80%, что неизбежно приводит к снижению энергоэффективности, повышению аварийности, перерасходу топлива и дополнительным убыткам. [1]

В этой связи, многие энергетические компании сталкиваются с необходимостью реконструкции и модернизации своих ОПФ. Однако при проведении мероприятий по реконструкции и модернизации энергетической компании, недостаточное внимание уделяется пересмотру действующей системы управления.

Таким образом, процесс реконструкции и модернизации энергетического предприятия должен основываться на комплексном подходе, предусматривающем, помимо внедрения основных производственных фондов, также построение модели системы управления им.

Данная модель должна строиться с учетом требований международных стандартов по менеджменту, признанных в качестве национальных стандартов, в том числе и в России, таким, как: ISO 9000, ISO 14000, ISO 50001, ISO 55001, OHSAS 18000.

Построение такой модели системы управления позволит получить экономию от сокращения валовых затрат энергетической компании (так, например, внедрение ISO 9000 позволяет сокращать затраты на 5–8%, а внедрение ISO 50001 — до 20% на энергетические ресурсы).

Проанализировав результаты отечественной практики внедрения систем менеджмента с учетом международных стандартов, а также проведя необходимые расчеты, удалось выявить, что применение модели системы управления с учетом требований международных стандартов по менеджменту позволяет сократить валовые затраты Тюменской ТЭЦ-2 с 4 190,53 до 3 776,08 млн руб. (в том числе благодаря снижению расходов на энергетические ресурсы, на персонал, на негативные воздействия на окружающую среду и т.д.), в соответствии с чем, данная модель в рамках проведения реконструкции и модернизации позволяет сократить издержки энергетической компании при прочих равных условиях на 11%, и, как следствие, увеличить ее прибыль.

Литература

1. **Заикина Е. А., Зубкова А. Г.** Факторы повышения эффективности развития теплоэнергетики на региональном уровне. Экономика и предпринимательство, № 12 (ч. 1), 2013.

М. О. Лисицын, асп.;
рук. Н. Г. Любимова, д.э.н, проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЕДИНОГО ЦЕНТРА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ (ЕЦИООУ)

Эффективность управления информационным обеспечением образовательных учреждений (ОУ) во многом зависит от корректного решения задач повышения качества образования за счет внедрения новых информационных технологий и их дальнейшей поддержки. Основные направления информационного обеспечения ОУ, в которых сегодня нуждаются ОУ: квалифицированная поддержка имеющейся ИТ-инфраструктуры и ее развитие; внедрение имеющихся технологий в образовательную сферу и создание новых ИТ-технологий направленных на повышение качества образовательного процесса; доступность необходимого ПО для подготовки узкоспециализированных кадров; решение вопросов взаимодействия ОУ, ИТ-компаний и государственных структур. Эти задачи будут решаться ЕЦИООУ, модель которого разрабатывается автором.

ЕЦИООУ позволит развить рынок ИТ-аутсорсинга в образовательной сфере, повысить эффективность ИТ-поддержки за счет квалифицированных сотрудников ИТ-компаний и оптимизировать затраты на ИТ в целом.

Для разработки модели ЕЦИООУ необходимо провести анализ существующих информационных систем в образовательной сфере и разработать структуру взаимодействия данной модели с имеющимися информационными образовательными системами.

ЕЦИООУ будет включать в себя систему арендного ПО по принципу Software as a Service (SaaS), систему Virtual Desktop Infrastructure (VDI), организацию и управление всеми используемыми ей системами и их поддержкой. Система арендного ПО позволит ОУ использовать ранее недоступное ПО (не покупать, а пользоваться по необходимости), привлекать ранее недоступное в образовательной сфере ПО, которое используется в данный момент только на предприятиях, в промышленности, медицине и пр. и повысить эффективность подготовки узкоспециализированных специалистов. Система VDI позволит пользоваться программы с высокими требованиями к ПО и предоставит возможность работать вне учебного заведения. В регионах, где нет ИТ-компаний для поддержки ОУ, система VDI позволит решить данную проблему ввиду простоты такого решения на основе «тонких клиентов» со стороны ОУ и сократить затраты там, где поддержка классического ИТ-решения стоит дорого.

Данная модель позволит оптимизировать средства ОУ на покупку ПО, поддержку ИТ-инфраструктуры, снизить стоимость образовательных услуг для учащихся и повысить качество образовательного процесса.

Т. М. Максимова, студ.; рук. В. А. Щевьева, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕООРУЖЕНИЯ И РЕКОНСТРУКЦИИ ПС 220 КВ РОСТИЛОВО

В современных условиях, когда в центр экономической политики государства ставятся стратегия импортозамещения и модернизация производства, особое внимание приобретают вопросы технического перевооружения предприятий, направленного на повышение производительности труда и сокращение эксплуатационных издержек.

Целью работы является оценка экономической эффективности инвестирования средств в комплексное техническое перевооружение и реконструкцию ПС 220 кВ Ростилово.

В настоящее время оборудование, установленное на ПС 220 кВ Ростилово, морально устарело и физически изношено, ее мощность и техническое состояние не соответствуют требованиям покрытия растущих нагрузок и надежного электроснабжения потребителей.

Для реализации проекта потребуется 1307,22 млн руб. Данные средства необходимы для демонтажа существующего оборудования, покупки нового оборудования, проведения строительно-монтажных и пусконаладочных работ.

В качестве критериев оценки эффективности проекта используется система показателей [1] и получены следующие данные: чистый доход от реализации проекта составляет 659,9 тыс. руб., срок окупаемости — 21,6 года при сроке реализации в 30 лет, что говорит об эффективности рассматриваемого инвестиционного проекта; ЧДД=-339,8 млнруб.; ВНД=2,7%<5%; ИДД=0,73<1, из чего следует, что данный проект менее эффективен, чем альтернативные вложения.

Реализация данного проекта позволит покрыть рост электрических нагрузок в будущем. С целью увеличения эффективности следует минимизировать издержки. Снижение издержек исследуемого проекта может быть достигнуто посредством сокращения потерь электроэнергии, в том числе и на собственные нужды подстанции. В целях достижения наиболее высоких результатов следует:

1. Снизить расходы электроэнергии на собственные нужды подстанции;
2. Вводить в работу энергосберегающее оборудование.

Литература

1. **Ример М.И.** Экономическая оценка инвестиций. Учебник для вузов. 5-е изд. — СПб: Питер, 2014. — 432 с.

*Д. С. Манджиев студ.;
рук. А. Ю. Амелина, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОЙ КОМПАНИИ

В настоящее время уровень инновационной активности в России отстает от ведущих стран. В частности, если в российской электроэнергетике уровень инновационной активности не превышает 8%, то в ведущих западных странах данный уровень превосходит 15%, а в отдельных странах (США и Канада) составляет 22–25% [1]. В связи с этим проблема разработки методике оценки потенциала управления инновационной деятельностью электросетевых компаний с учетом различных факторов, в том числе экологического критерия, представляется весьма актуальной. Нами рассматривается этот вопрос на примере МРСК Юга.

За основу оценки потенциала управления инновационной деятельностью МРСК Юга была взята методика В.И. Абрамова. Комплекс показателей компонентной оценки инновационного потенциала (ИП) электросетевой компании в данной методике включает: финансово-экономический потенциал (ф-э.п.); организационно-управленческий потенциал (о-у.п.); кадровый потенциал (к.п.); производственно-технологический потенциал (п-т.п.); научно-технический потенциал (н-т.п.); экологический потенциал (э.п.) [2]. ИП определяется по формуле:

$$\text{ИП} = \sum_{i=1}^n \frac{K}{n} \quad (1)$$

где ИП — инновационный потенциал МРСК Юга; K — значение бального коэффициента; i — порядковый номер коэффициента; n — количество показателей инновационный потенциал МРСК Юга.

$$n = \text{ф-э.п.} + \text{о-у.п.} + \text{к.п.} + \text{п-т.п.} + \text{н-т.п.} + \text{э.п.} \quad (2)$$

По нашему мнению, экологический критерий в оценке управления инновационной деятельностью электросетевой компании может быть включен, в интегральный расчет ИП электросетевой компании, что в итоге повысит качество оценки ИП и позволит более качественно оценить ИП этой компании.

Литература

1. **Global Innovation Index 2016:** Switzerland, Sweden, UK, U.S., Finland, Singapore Lead; China Joins Top 25 — Geneva, August 15, 2016 [Электронный]. URL: http://www.wipo.int/pressroom/en/articles/2016/article_0008.html (дата обращения: 20.09.2017).
2. **Абрамов В. И.** Методология оценки инновационного потенциала. Дисс. докт. экон. наук. Самара. 2012 г.

Е. С. Матросова, студ.;
рук. Д. Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

В настоящее время повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов и создание условий для целенаправленного перевода экономики России на энергосберегающий путь развития является важнейшей задачей. Большую роль играет энергосбережение на промышленных предприятиях в связи с дефицитом энергетических ресурсов и постоянным ростом цен на электричество, тепло и энергоносители.

Энергосбережение на предприятиях осуществляется в нескольких направлениях: повышение эффективности производственного процесса и экономия энергетических ресурсов, связанных с обеспечением производства.

Для того, чтобы реализовать и внедрить энергосбережение на промышленном предприятии необходимо проводить анализ энергосберегающих мероприятий по определенным видам энергоресурсов или объектам предприятия и отбирать те мероприятия, которые принесут наибольший экономический эффект.

Мероприятия по энергосбережению могут быть разными. Один из самых действенных способов увеличения эффективности использования энергии — применение современных технологий энергосбережения [2].

Для оценки эффективности проведения энергосберегающих мероприятий могут быть использованы различные методы, такие, как метод расчета срока окупаемости инвестиций, расчет чистого дисконтированного дохода, расчет дисконтированной рентабельности инвестиций, метод расчета нормы доходности и т. д. [1].

В целях совершенствования системы энергосбережения на предприятии можно провести мероприятия по теплоизоляции и герметизации здания, что приведет к снижению энергосбережения в 2–3 раза, срок окупаемости при этом составит 1,5 года, а использование вторичных энергоресурсов позволит в 3 раза снизить энергоемкость на промышленном предприятии, окупаемость при этом будет достигнута в течение 2 лет.

Литература

1. **Елтышев Д. К.** Стратегия управления процессами энергоснабжения и повышения энергоэффективности промышленных предприятий / Елтышев Д. К., Хорошев Н. И. // *Фундаментальные исследования*. — Пенза: Издательский дом «Академия естествознания», 2014.
2. **Зайцева Е. Г.** Подходы к организации процесса энергосбережения на промышленном предприятии / Зайцева Е. Г., Жуков Д. С. // *Российское предпринимательство*. № 23. — М: Изд-во «Креативная экономика», 2014.

А. Р. Музыкаченко, студ.;
рук.: А. Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРИВАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ КОМПАНИЙ

Электроэнергетика считается одной из главных отраслей экономики любого государства, так как ее эффективное и надежное функционирование обеспечивает стабильное развитие национальной экономики и энергобезопасность страны, является основой национального воспроизводства. Электроэнергетический комплекс оказывает колоссальное воздействие на развитие электроэнергетики страны, поэтому одним из главных вопросов в данной отрасли является приватизация электросетевых компаний и оценка последствий от подобного реформирования.

Основой для построения модели оценки последствий приватизации является исследование отечественных и зарубежных исследователей. Так исследователи Высшей школы приватизации и предпринимательства (ВШПП) предлагают производить оценку, исходя из максимизации экономической, социальной, экологической эффективности.

Зарубежные исследователи, такие как D. Saal и D. Parker настаивают на эконометрическом анализе показателей, изменяющихся в результате приватизации [1].

Исследование заключается в построении модели, учитывающей несколько показателей эффективности, изменение которых будет определять результирующий показатель:

$$\Delta = \Delta\phi_{\text{гос}} g_{\text{гос}} + \Delta\phi_{\text{соц}} g_{\text{соц}} + \Delta\phi_{\text{пром}} g_{\text{пром}} + \Delta\phi_{\text{инв}} g_{\text{инв}} \quad (1)$$

где Δ — изучаемый эффект; $\Delta\phi$ — частные показатели эффективности; g — коэффициент значимости показателя эффективности.

Пример расчета инвестиционной эффективности, которая будет учитывать доходы инвестора в зависимости от стоимости продажи компании и затрат на обновление производственных фондов:

$$\Delta\phi_{\text{инв}_i} = \frac{D_i}{(AK_{\text{прод}_i} + \Delta I_i)} \quad (2)$$

где $\Delta\phi_{\text{инв}_i}$ — инвестиционная эффективность в i -м году; D_i — дивидендные выплаты в i -м году; $AK_{\text{прод}_i}$ — стоимость продажи компании в i -м году; ΔI_i — дополнительному инвестированию в обновление производственных активов компании в i -м году.

Литература

1. Saal D., Parker D. Productivity and price performance in the privatized water and sewage companies of England and Wales // Journal of Economic. — 2001.

*О. Д. Найденко, студ.; Т. А. Матухнов, студ.;
рук. Е. В. Сухарева, к.э.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ КВАРТАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ СТАНЦИИ В АВТОНОМНЫЙ ИСТОЧНИК ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В настоящее время применение современных технологий позволяет нам получить наиболее качественное теплоснабжение потребителя, которое сопровождается не только длительным сроком эксплуатации теплотехнического оборудования, но и высокой степенью энергоэффективности [1].

Рассматривается модернизация квартальной тепловой станции в автономный источник теплоснабжения на базе автоматизированной блочно-модульной котельной, не требующей постоянного присутствия персонала.

Расчет произведен на примере отопительной станции, предназначенной для теплоснабжения больничного комплекса. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение затрат на производство тепловой энергии

Показатель (в тыс. руб.)	Квартальная тепловая станция	Автономный источник теплоснабжения
Расходы на газ	4 842	2 708
Расходы на воду	81	12
Расходы на электроэнергию	979	639
Расходы на соль	13	5
Затраты на подрядные организации	1 964	1 413
Затраты на з/п	13 415	1 638
Итого	21 294	6 415

Инвестиционные затраты на реконструкцию тепловой станции составляют 35,859 млн руб. Модернизация квартальной тепловой станции позволит получить автоматизированное производство, экономический эффект составляет 14,879 млн руб. в год. Себестоимость выработки тепловой энергии уменьшится на 36,5 руб./Гкал. Срок окупаемости данного проекта — 2 года 5 месяцев [2].

Литература

1. **Данилов О. Л.** Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. 424 с.
2. **Щевьева В. А.** Финансирование инновационных проектов и экономическая оценка инвестиций. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

*И. А. Ольшански, студент;
рук. А. А. Сорокин, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОРПОРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПАНИИ ЧЕРЕЗ ОПТИМИЗАЦИЮ ОТНОШЕНИЙ ПРИНЦИПАЛ-АГЕНТ

Совершенствование корпоративного управления через оптимизацию отношений принципал-агент особенно актуально для нынешнего этапа развития российской экономики, поскольку в условиях реформирования экономических отношений идет активный процесс формирования хозяйствующих субъектов с достаточно сложной внутренней структурой, в том числе и на межотраслевом и межрегиональном уровнях [1].

Одной из центральных проблем любой современной корпорации является агентская проблема. Собственник понимает, что цели менеджера могут не совпадать с его целями. Собственник не может определить, насколько высока прибыль, полученная благодаря стараниям менеджеров или действию внешних факторов. Одной из главных причин неэффективности многих корпораций является несовершенство существующих организационно-управленческих структур [2].

Актуальность этой проблемы для России (СНГ): неустойчивость и размытость прав собственности, отсутствие традиций взаимоотношения собственников и менеджеров, участие менеджеров в собственности предприятий и т.п. К сожалению, степень разработанности данной проблемы в отечественной науке не достаточна.

Научная новизна заключается в разработке методических предложений по совершенствованию корпоративного управления и организационно-методических основ формирования корпоративной культуры максимально адаптированных к современным условиям деятельности через оптимизацию отношений принципал-агент.

Планируется развитие участия работников в управлении производством, как механизм повышения эффективности производства и нейтрализации противоречия принципал-агента (собственника-менеджера).

Перспективной представляется идея, что противоречия между собственниками и менеджерами можно уравновесить развитием вовлеченности в процесс принятия решений представителей работников предприятий. Разработка моделей данного участия позволит, хотя бы частично, снизить негативные последствия проблемы принципал-агента.

Литература

1. **Тепман Л. Н.** Корпоративное управление. — Юнити-Дана, 2012.
2. **Орехов С. А., Селезнев В. А., Тихомирова Н. В.** Корпоративный менеджмент: учебное пособие. — 2017.

А. В. Попов, студ.; рук. В. А. Щевьева, ст. преп. (НИУ МЭИ)

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ЧАСТНЫХ ИНВЕСТОРОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ РЕНОВАЦИИ

Строительный сектор является одним из важных отраслей экономики, на долю которого приходится около 3% ВВП России. В 2016 г. в этом секторе экономики было трудоустроено 7 миллионов россиян.

За последние десятилетия развитие г. Москвы шагнуло сильно вперед, что отразилось на изменении строительных норм и правил (СНиП), согласно которых происходит межевание территорий, определение этажности, обустройство дворовых территорий и машиномест. Старая застройка времен Хрущева («хрущевки») создавалась в кратчайшие сроки под другую плотность населения, количество автотранспортных средств и соответственно, имела малую этажность [1].

Программа реновации жилья в Москве направлена на расселение и снос ветхого малоэтажного жилого фонда, построенного в 1957–1968 гг., и новое строительство на освободившейся территории. В данную программу вошли 5144 дома, что в квартирном эквиваленте составляет 350 тыс. квартир. [2]

В данной работе рассмотрена и оценена целесообразность привлечения инвесторов для реализации данной программы, а также предложен безденежный расчет между ними и городом.

В первую очередь стоит отметить, что старые дома строились исходя из плотности населения 8 000 человек на гектар, но в связи с реновацией после расселения пятиэтажек останутся свободные площади, которые сможет реализовать подрядчик, и получить прибыль.

Одним из основных затрат застройщика в ходе реализации проекта, является аренда земельного участка. На весь период строительства застройщик обязуется предоставлять городу поквартальные платежи за отведенный ему земельный участок. Предложено убрать арендные платежи за земельный участок, что позволит сделать реализуемые проекты привлекательней.

Исходя из произведенных расчетов, на взятом земельном участке в Северном Измайлово основные экономические показатели проекта после вышеуказанных послаблений составляют: NPV = 1 765 253 руб., IRR = 16,5%.

Литература

1. **Официальный сайт мэра Москвы** <https://www.mos.ru/city/projects/renovation>.
2. **Федеральный закон № 141-ФЗ** — О реновации жилого фонда (О внесении изменений в ФЗ от 15 апреля 1993 г. № 4802-1 «О статусе столицы Российской Федерации»).

К. Б. Родионова, студ.;
рук. И. С. Андрюшина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

НАЦЕЛЕННОСТЬ НА КАЧЕСТВО РОСТА — НОВАЯ ПАРАДИГМА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РОССИЙСКИХ КОРПОРАЦИЙ

Оценить рост компании в рамках современного финансового анализа можно посредством двух моделей: бухгалтерской и финансовой. С помощью бухгалтерской модели определяется устойчивый темп роста продаж, т.е. количественный показатель роста, являющийся дальнейшим ориентиром для развития компании. Однако рост продаж не всегда означает рост стоимости бизнеса. Важно определить качество этого роста, что и предполагает вторая модель оценки — финансовая. Она дает возможность оценить именно направление изменения стоимости. При этом качественным считается только такой рост, который приводит к росту стоимости бизнеса [1].

Управление стоимостью — достаточно новая концепция для российского рынка. Результаты исследований, проведенных аудиторской компанией КПМГ совместно с ГУ-ВШЭ, показали, что лишь треть российских компаний используют показатели стоимости при постановке целей и системе оценке результатов. Наибольшая доля среди исследуемых компаний, применяющих методы стоимостного управления, приходится на нефтегазовый сектор. Так, автором был проведен сравнительный анализ двух компаний данной отрасли (ПАО «НОВАТЭК» [2] и ПАО «ЛУКОЙЛ» [3]), по результатам которого были сделаны следующие выводы:

- обе компании демонстрируют устойчивый средний темп роста продаж, величина которого для ПАО «НОВАТЭК» составляет 16%, для ПАО «ЛУКОЙЛ» — 14%;
- качество роста анализируемых компаний различно: индексы их устойчивого роста принимают значения 0,12 и 0,02 соответственно. Поэтому ПАО «НОВАТЭК» по итогам 2016 года генерирует положительную экономическую прибыль в размере 5,8 млрд руб., следовательно, генерирует стоимость, а ПАО «ЛУКОЙЛ» показывает отрицательное значение экономической прибыли — 200 млрд руб., т.е. сокращает стоимость бизнеса.

В итоге, можно констатировать, что несмотря на сопоставимые устойчивые средние темпы роста, ПАО «НОВАТЭК» привлекательнее для инвесторов, чем ПАО «ЛУКОЙЛ».

Литература

1. **Ивашковская И. В.** Моделирование стоимости компании. Стратегическая ответственность советов директоров: монография — М.: ИНФРА-М, 2018.
2. **ПАО «НОВАТЭК».** URL: <http://novatek.ru>.
3. **ПАО «ЛУКОЙЛ».** URL: <http://lukoil.ru>.

*Ю. Н. Рыженкова, студ.;
рук. В. Е. Озерова, ст. пр. (НИУ «МЭИ», Смоленск)*

ЗАТРАТЫ НА ОПЛАТУ ТРУДА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ МСФО

В настоящее время методологические подходы учета оплаты труда работников в международной и российской практике имеют различия.

В РСБУ разработан проект положения по бухгалтерскому учету «Учет вознаграждений работникам» и именно он должен стать аналогом IAS 19 «Вознаграждения работникам». Но на данный момент расходы по оплате труда и иные вознаграждения обычно начисляются в российском учете аналогично другим расходам. В данной ситуации актуально провести сравнение проекта ПБУ и стандарта МСФО.

Сравнивая подходы МСФО и РСБУ, мы обнаружили различия в таких выплатах как: премии по итогам года, отпускные, компенсации за неиспользуемый отпуск, выходные пособия, материальная помощь, добровольное медицинское страхование, обучение, питание и т. д. В РСБУ не предъявляются требования к равномерному распределению во времени неперiodических вознаграждений, поэтому такие вознаграждения сотрудникам начисляются по необходимости их выплаты.

В IAS 19 все вознаграждения работникам разделены на долгосрочные, индекслируемые исходя из сроков погашения обязательств и краткосрочные, которые признаются по мере оказания услуг [1]. В то время как в РСБУ долгосрочные обязательства по оплате труда не дисконтируются в связи с отсутствием соответствующих нормативных требований, это можно оценить как минус российского учета.

Признание расходов, связанных с отсутствием сотрудников на работе согласно IAS 19 зависит от того, являются периоды отсутствия накапливаемыми (начисляются в течение всего периода) или ненакапливаемыми — по мере наступления факта отсутствия сотрудника. Российский учет отличается от МСФО моментом, когда начисляются обязательства перед работниками по оплате дней отсутствия на работе [2].

В результате сравнения нами была выявлена явная необходимость принятия проекта в РСБУ, так как это позволит усовершенствовать ведение расчетов с персоналом по оплате труда, уменьшить существенный разрыв нормативной базы РСБУ с МСФО, в которых изложена полная методика учета и отражения в отчетности вознаграждений.

Литература

1. Международный стандарт финансовой отчетности (IAS) 19 «Вознаграждения работникам» [Электронный ресурс] — Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Проект положения по бухгалтерскому учету «Учет вознаграждений работникам» [Электронный ресурс]: разработан М-вом финансов РФ 28 июля 2011 г. — Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

*М. А. Самылкина, студент;
рук. Е. П. Кутурина, к.э.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

ОЦЕНКА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СБЫТОВЫХ КОМПАНИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Электроэнергетика — отрасль первичного сектора экономики, представляющая собой основу для развития производства и услуг. В условиях современной России важным является вопрос оценки и управления инвестиционной привлекательностью электроэнергетических компаний.

Решая вложить свои средства в конкретное предприятие, инвестор оценивает его деятельность. Решающими данными в этой оценке являются рыночная капитализация, а также мультипликаторы, которые соизмеряют доходы компании с другими показателями. В совокупности эти показатели дают объективную картину положения компании на рынке.

Был проведен анализ наиболее крупных сбытовых компаний электроэнергетической отрасли. Он представлен в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика сбытовых компаний электроэнергетической отрасли (на конец III квартала 2017 г.)

Название компании	Рыночная капитализация ценных бумаг (в руб.)	p/s	p/e	p/b
ПАО «ФСК ЕЭС»	219816034962,21	1,53	8,26	0,22
ПАО «ЛЭНЭНЕРГО»	54206504271,05	1,13	8,45	0,43
ПАО «РОССЕТИ»	205721215496,50	8,03	28,10	0,53
ПАО «ИНТЕР ПАО ЕЭС»	388837800000,00	12,34	71,50	0,93

Таким образом, данные по капитализации ценных бумаг на Московской бирже говорят о стабильном положении компаний на рынке.

Полученные значения мультипликаторов свидетельствуют о выгодности приобретения акций. Несмотря на то, что в ПАО «РОССЕТИ» и ПАО «ИНТЕР ПАО ЕЭС» зафиксированы слишком высокие значения мультипликаторов p/s и p/e, это не связано с ухудшением рыночных позиций, а является отражением внутренних процессов компании (на оба показателя влияет чистая прибыль, искажающая промежуточные показатели ввиду своей волатильности).

Литература

1. Московская биржа. Электронный документ. Режим доступа: <http://www.moex.com/>.
2. Данные финансовых отчетностей представленных сбытовых компаний. Электронный документ. Режим доступа: <http://www.fsk-ees.ru/>, <http://www.lenenergo.ru/>, <http://www.rosseti.ru/>, <https://www.interrao.ru/>.

А. С. Седая, студ.; рук. Н. Л. Аграпонова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЗАКУПОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ (ГБОУ ШКОЛА № 2051)

Мировой опыт показывает, что государство на рынке является важнейшим закупщиком продукции. Наиболее целесообразным способом организации закупок для государственных и муниципальных нужд является осуществление закупок посредством проведения конкурсных торгов. [1]

Организация закупочной деятельности предполагает выдачу разрешений на проведение закупок, организацию поиска, выбора поставщиков. Важнейшими задачами, разрешаемыми закупочной системой в образовательных учреждениях являются: дефиниция предмета (структуры) закупок; предпочтение поставщика; установление объема закупок; обстоятельства закупок. Рассмотрим статистику закупочной деятельности в ГБОУ Школа № 2051 (Таблица 1).

Таблица 1. Статистика закупочной деятельности в ГБОУ Школа № 2051 за 2016–2017 гг.

Количество запланированных конкурентных процедур, ед.	Количество процедур признанных несостоявшимися, ед.	Сумма запланированных процедур, тыс. руб.	Сумма несостоявшихся процедур, тыс. руб.	% несостоявшихся процедур к общему количеству запланированных торгов
88	10	393 349	34 614	8.8

В результате проведенного исследования были выявлены проблемные области и предложены пути их устранения:

1. Управляемость закупок — создание единой базы покупаемых товаров, работам и услугам (с учетом информации о текущем наличии ресурсов); создание системы показателей процесса закупок; создание механизмов мониторинга процесса; отслеживание статуса заказа посредством автоматизированных технологий.
2. Высокие издержки на организацию процесса — оптимизация рабочих кадров за счет повышения их профессиональной квалификации; исключение обработки всей информации ответственным лицом вручную.

Литература

1. **Официальный сайт информационной системы закупок** [Электронный ресурс]. — Режим доступа: zakupki.gov.ru

А. О. Шуварина, студ.; рук. Е. Ю. Абрамова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗБЫТОЧНЫХ МОЩНОСТЕЙ НА КОНЕЧНУЮ ЦЕНУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Избыточная мощность в РФ зародилась в период экономического кризиса 2008–2010 гг., так как регуляторами был спрогнозирован дефицит мощности ЕЭС, а не ее профицит, как оказалось в действительности. Данные прогнозы были обусловлены неожиданным ростом рынка в сфере энергетики в 2000–2005 гг., который также планировали увидеть и в будущем.

Актуальность данной проблемы обусловлена стабильным ростом объемов избыточных мощностей в динамике. Вследствие чего основной задачей является оценка влияния избыточных мощностей на конечную цену электроэнергии для категории «прочие потребители» в масштабах ОЭС Европейской части России и Урала. Для получения результата следует провести анализ объемов платежей за содержание вынужденной генерации и уровня платежей за аналогичную мощность по рыночной цене. В таблице 1 приведены итоги расчетов цены электроэнергии в зависимости от участия генерации в конкурентном отборе за 2016 г.

Таблица 1 Влияние вынужденной генерации на конечную цену электроэнергии для промышленных потребителей

Энергосистемы:	Цээ, в т. ч. Цвр, р/МВт×ч	Цээ, в т. ч. Цком, р/МВт×ч	Переплата, р/МВт×ч	Переплата от первонач. Ц,%
ОЭС Центра	3387,19	3377,71	9,48	0,31
ОЭС С-Зап	4309,03	4295,91	13,12	0,34
ОЭС Урала	4098,91	4089,35	9,56	0,23

Отключение из энергосистемы электростанций, работающих в вынужденном режиме, произвести невозможно, поскольку на данных объектах построена работа всей энергосистемы, вывод которых может привести к «энергетическому коллапсу» [1].

В качестве рекомендаций по минимизации избыточных мощностей на ОРЭМ может послужить: модернизация неконкурентоспособных станций, основная часть таковых представлена в виде ТЭЦ; инвестирование в строительство сетей и расширение запортой мощности; минимизация невыпускаемых резервов. Данные меры в динамике способствуют уменьшению цены на электроэнергию для конечного потребителя.

Литература

1. А. Б. Чубайс. Экономика и управление в современной электроэнергетике России: пособие для менеджеров электроэнергетических компаний / Учебное пособие / А. Б. Чубайс; — Москва НП КОНЦ ЕЭС, 2009.

*В. А. Василенко, студент;
рук.: Е. Ю. Абрамова, к.э.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ПОДХОДА К ФОРМИРОВАНИЮ МОДЕЛИ ВЫПУСКНИКА ВУЗА, ОТВЕЧАЮЩЕГО ТРЕБОВАНИЯМ КЛЮЧЕВОГО РАБОТОДАТЕЛЯ

Актуальность темы вызвана необходимостью подготовки конкурентоспособного специалиста, обладающего необходимыми компетенциями, для его быстрой адаптации на предприятии. Разработанные модели выпускника высшего образования нуждаются в преобразовании, поскольку не отвечают в полной мере потребностям рынка труда и интересам ключевого работодателя. Предпосылкой изменений существующих моделей является предстоящий переход на актуализированные федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования (ФГОС ВО 3++), вступающие в силу с 01.09.2018 [1]. Однако их недостаточно для полноценной подготовки конкурентоспособного специалиста по следующим причинам:

1. По ряду направлений профессиональные стандарты отсутствуют.
2. В основе стандартов лежит анализ трудовой деятельности работников — представителей организаций множества сфер деятельности, что не позволяет учитывать специфику работы конкретного предприятия.
3. Из-за необходимости обработки большого массива данных профессиональные стандарты редко обновляются и не успевают за развитием инновационной экономики.

В связи с этим для ВУЗа становится актуальным проведение детального анализа рынка труда, выявление ключевого работодателя и активное взаимодействие с ним для определения профилей образовательных программ, профессиональных компетенций и их интерактивного обновления. Акцент на бизнес-процессах потенциального работодателя позволит повысить востребованность выпускника в выделенном сегменте и снизить затраты компании на поиск и обучение нового сотрудника. Ключевой работодатель является типичным представителем целевого сегмента рынка труда и может быть выделен по критериям: географическое положение, отрасль, вид экономической деятельности, осуществляемые бизнес-процессы, доля молодых специалистов в штате и т.д. Бизнес-процессы и задачи, решаемые в процессе профессиональной деятельности, послужат основой для построения модели востребованного выпускника.

Литература

1. **Федеральный закон** «О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации и статьи 11 и 73 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» от 02.05.2015 № 122-ФЗ.

А. В. Яровикова, студ.; рук. А. Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ МЭИ)

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ВЫХОДА НА ОРЭМ ДЛЯ ЭНЕРГОСБЫТОВОЙ КОМПАНИИ И ПОТРЕБИТЕЛЯ

Одной из главных задач любого предприятия является оптимизация затрат. От величины себестоимости зависит конечный финансовый результат деятельности предприятия — прибыль [1]. В себестоимости крупных производственных предприятий, весомую долю имеют затраты на энергоресурсы. Наиболее эффективным способом оптимизации издержек является выход предприятия на оптовый рынок электрической энергии: самостоятельно или через энергосбытовую организацию. Стоит отметить, что самостоятельный выход на оптовый рынок целесообразен только для крупных предприятий с суммарной присоединенной мощностью более 20 МВА, способных организовать в своей структуре систему учета, сбора и прогнозирования объемов потребления. В других случаях, предприятию следует воспользоваться услугами энергосбытовой компании. Такая схема взаимодействия выгодна не только потребителю, но и энергосбытовой организации, об этом свидетельствуют расчеты.

Фактические объемы потребления рассматриваемого производственного предприятия Самарской области в декабре 2016 г. составили 2221065 кВт×ч. и 3172 МВт. Итоговая стоимость энергоресурсов по тарифам Самарской области составила 5353456 руб./мес., при условии, что выгода энергосбытовой компании составила 0 руб., так как, обслуживая розничного потребителя, рассматриваемая энергосбытовая компания не применяет сбытовую надбавку к тарифу.

В случае, если данный потребитель обслуживался на оптовом рынке, стоимость составила бы 4912893 руб./мес., при условии, что данная стоимость включает сбытовую надбавку в размере 0,033873 руб./кВт×ч. Выгода энергосбытовой компании составила бы 75234,14 руб./мес. Выгода потребителя составила бы 440563 руб./мес.

Рассматривая двух взаимозависимых контрагентов и анализируя специфику деятельности каждого из них, можно прийти к выводу, что обе компании могут увеличить свою прибыль за счет друг друга. При выводе потребителя на обслуживание с оптового рынка, энергосбытовая компания получает дополнительный доход в виде сбытовой надбавки, в то же время потребитель, переходя на обслуживание с розничного рынка на оптовый рынок электроэнергии (мощности) снижает свои издержки на оплату электроэнергии, а как следствие этого увеличивает свою прибыль.

Литература

1. Полянин А. В., Строева О. А. Экономика предприятий. — О.: ОФ РАНХиГС, 2015.

А. С. Желудков, Р. Н. Кадыров, студ.;
рук. Р. С. Саитбаталова, к.т.н., доц.;
Р. Р. Хуснутдинов, к.ф.-м.н., доц. (КГЭУ, Казань)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРЫТОГО БАССЕЙНА И ОБОГРЕВ ВОДЫ ВТОРИЧНЫМ ТЕПЛОМ

В настоящее время, когда цены на электроэнергию неуклонно растут, мы имеем в эксплуатации большее количество неэкономичных объектов коммунального хозяйства, теплоэнергетики, промышленности, сельского хозяйства и других подобного рода потребителей электроэнергии [1].

Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

Проектируемый крытый плавательный бассейн общая площадь здания 7562 м, метраж плавательных дорожек 25×8,5 м на базе многофункционального спортивно-концертного комплекса (далее МСК) в Казани — «Татнефть Арена» располагается в жилой группе, входящей в состав микрорайона.

Оборудование холодильной установки от МСК «Татнефть Арена» подключено к централизованной системе автоматизации.

Для отопления бассейна будут использованы фанкойлы и автоматическое управление системой рекуперации тепла. Эта система допускает распределять поток горячего теплоносителя между всеми теплообменниками отапливаемого здания. Работа системы полностью автоматизирована, и автоматика обеспечивает нужное давление в холодильных контурах вне зависимости от сезона [2].

Актуальность работы заключается в использовании вторичного тепла для нагревания воды внутри бассейна за счет сокращения фанкойлов до 5 штук из 9 возможных [3].

Потребление электроэнергии фанкойлов в год, руб.	Потребление электроэнергии компрессоров в год, руб.	Ориентировочная полная стоимость бассейна, руб.	Срок окупаемости, лет
47 558 040	30 695 040	327 887 000	6–7

Литература

1. **Курылев Е. С., Оносовский В. В., Румянцев Ю. Д.** Холодильные установки: учеб. Пособие — М.: Политехника, 2004.
2. **Клевцов А. В.** Средство оптимизации потребителя электроэнергии: справочно-информационное пособие, 2010.
3. **Денисов-Винский Н.** LAP Lambert Academic Publishing. Анализ вторичного тепла промышленных предприятий и его использование, 2014.

*О. Ю. Судницына, студ.;
рук. Л. Д. Капранова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОИМОСТИ БИЗНЕСА И ОСОБЕННОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЭКОНОМИЧЕСКОГО КРИЗИСА

По мере развития рыночных отношений в России важнейшим фактором конкурентоспособности отечественных предприятий в долгосрочной перспективе является наличие фундаментальной цели развития бизнеса — прирост его стоимости за счет производства продукции, способствующей инновационному развитию экономики, востребованной конечными потребителями и обществом, ориентированному на достижение этих целей.

Таким образом, возникает задача разработки методологии современных оценочных подходов и определения стоимости современного предприятия (бизнеса). В данной работе автором были рассмотрены следующие подходы: затратный, доходный и сравнительный. При затратном подходе в оценке бизнеса рассматривается стоимость предприятия с точки зрения понесенных издержек.

Доходный подход — данный метод оценки считается наиболее приемлемым с точки зрения инвестиционных мотивов, поскольку любой инвестор, вкладывающий деньги в действующее предприятие, в конечном счете покупает не набор активов, а поток будущих доходов, позволяющий ему окупить вложенные средства, получить прибыль и повысить свое благосостояние.

Сравнительный подход в оценке бизнеса предполагает, что ценность активов определяется тем, за сколько они могут быть проданы при наличии достаточно сформированного финансового рынка [1].

Таким образом, в данной работе автором был проведен расчет стоимости чистых активов ПАО «Татнефть». По состоянию на 01.01.2017 стоимость чистых активов ПАО «Татнефть» составляет 624 417 269 тыс. руб. Для оценки стоимости бизнеса согласно методу капитализации доходов (доходный подход), автор рассчитал коэффициент капитализации ПАО «Татнефть», который составил 25,35% или 0,2535. Стоимость бизнеса ПАО «Татнефть» по методу капитализации доходов составила 413 507 097 тыс. руб. Следовательно, рыночная стоимость бизнеса ПАО «Татнефть», рассчитанная методом капитализации, за 2016 г. составила 413 507 097 тыс. руб.

Литература

1. **Грязнова А. Г., Федотова М. А.** — Оценка бизнеса. — М.: Финансы и Статистика, 2016. — 522 с.
2. **ПАО «ТатНефть»** <http://www.tatneft.ru>.

Секция 30

МЕНЕДЖМЕНТ В ЭНЕРГЕТИКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Председатель секции — и.о. зав. кафедрой МЭП, к.э.н., доцент.

Н.Л. Кетоева

Секретарь секции — ассистент С.А. Гулиева

Ю. В. Аксенова, студ.; рук. М. А. Киселева, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМАНДНОЙ РАБОТЫ В ОРГАНИЗАЦИИ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ

Наш современный мир быстро усложняется и развивается. Каждый год задачи, которые ставятся перед сотрудниками компаний, становятся все сложнее и труднее. Для того чтобы решить эти задачи, от сотрудников требуются специальные умения и знания. Основная сложность у каждого человека заключается в том, что для того, чтобы выполнить задание нужно обладать самыми разнообразными качествами личности, умениями и знаниями. Проблема в том, что один человек самостоятельно не может выполнить все необходимые функции. Это связано с тем, что требования могут быть противоположны сами себе. Исполнитель задачи будет совершать ошибки в ходе решения возникшей проблемы, потому что ему необходимо будет переключаться между противоречивыми подзадачами, что неминуемо в ходе выполнения такой работы. Такое выполнение задания приведет к ухудшению качества работы, или к провалу. Поэтому сейчас, является актуальной проблема формирования эффективной команды, которая могла бы решить самые разнообразные по качеству и сложности задачи.

Команда — это автономный самоуправляемый коллектив профессионалов, объединенных достижением общей цели, способный оперативно, эффективно и качественно решать поставленные перед ним задачи.

Командная работа регулирует усилия и умножает эффект. Работа в команде помогает добиться эффекта, где можно работать меньше, но получать больше. Это намного эффективнее индивидуальных усилий, потому что в команды объединяются группы людей и у них больше ресурсов, идей и энергии, чем у одного человека. Так же команды максимизируют потенциал лидера и минимизируют его слабости. В отдельном человеке достоинства и недостатки всегда проявляются сильнее [1]. Использование командной работы на предприятии приводит к значительному изменению качества работы, уменьшению текучести кадров, увеличение производительности труда, извлечение дополнительных прибылей.

Литература

1. **Джон Максвелл:** Работа в команде: учебное пособие — М.: Попурри, 2014 г. — 128 с.

Н. А. Асатрян, студ.;
рук. В. А. Епифанов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАНЧАЙЗИНГА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ РЫНКА ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ

Франчайзинг является системой продвижения товаров, услуг и (или) технологий, основанной на тесном и длительном сотрудничестве юридически и финансово разделенных и независимых предприятий, франчайзером и его индивидуальными франчайзи, посредством которой франчайзер в соответствии с принятой им концепцией дает своим франчайзи право, и возлагает на них обязательность осуществлять бизнес [1].

Развитие рынка общественного питания является позитивным фактором для локальной экономики и в первую очередь ее потребительского сектора. Одним из основных инструментов развития сферы ресторанного бизнеса служит франчайзинг.

Устойчивость франчайзинга на рынке общественного питания обусловлена следующими факторами:

- Поддержка и заинтересованность франчайзера в успехе партнера — франчайзи.
- Часто дается возможность приобретения оборудования/товаров/расходных материалов по льготной цене, иногда и предоставляется в кредит.
- Использование уже функционирующих и многократно проверенных концепций и приемов ведения бизнеса.
- Известный товарный знак компании и позволяет снизить затраты на рекламу.
- Мгновенное приобретение хорошей репутации под признанным товарным знаком или фирменным наименованием.
- Использование результатов широкомасштабных рекламных мероприятий, научных разработок и исследований франчайзером.
- Обучение способам ведения бизнеса в фирме франчайзера стандартам высокого качества.
- Постоянное гарантированное снабжение [2].

Литература

1. **С. А. Сосна, Е. Н. Васильева** Франчайзинг. Коммерческая концессия. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2014. — 375 с.
2. **М. Мендельсон** Руководство по франчайзингу. — М.: Сибли интэрнэшнл Инк, 2015. — 121 с.

*Е. Д. Авдеева, С. Д. Куликова, студенты;
рук. М. А. Киселева (НИУ «МЭИ»)*

ПОСТРОЕНИЕ ДЕРЕВА ЦЕЛЕЙ ПАО «МОСЭНЕРГОСБЫТ»

Ключевая задача для России до 2030 года является увеличение энергоэффективности, что подтверждается энергетической стратегией Российской Федерации. Целью энергетической политики России является максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики, повышения качества жизни страны. [1] Эту особенность могут реализовать такие крупные компании как: ПАО «Мосэнергосбыт», ООО «Энергохолдинг», ООО «ЦентрЭнерго» и т. д.

На сегодняшний день «Мосэнергосбыт» — одна из крупнейших в России энергосбытовых компаний, гарантирующий поставщик электрической энергии на территории Москвы и Московской области (8% вырабатываемой в стране электроэнергии) [2]. Одной из целей компании для повышения ее энергоэффективности является снижение дебиторской задолженности.

Предлагается следующая схема реализации снижения дебиторской задолженности на 50% в 2018 г. на рисунке 1.



Рис. 1. Дерево целей реализации снижения дебиторской задолженности на 50% в 2018 г.

Первостепенными мероприятиями являются совершенствование маркетинговой деятельности и продвижение законодательных инициатив. Затраты составят в среднем 5,5%. В результате высвобожденные денежные средства направятся на внедрение АСКУЭ, что приведет к энергоэффективности потребления.

Литература

1. <https://minenergo.gov.ru/> Сайт министерства энергетики
2. <http://www.mosenergosbyt.ru> Сайт Мосэнергосбыт

Н. И. Блохина, студ.;
рук. Е. А. Терехова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ИНДУСТРИИ ГОСТЕПРИИМСТВА КРЫМА

Конкурентоспособность предприятий гостиничной сферы Крыма по сравнению с европейскими зонами отдыха, туризма и рекреации падает [1]. Неорганизованность и тенезация приводят к неудовлетворительному качеству туристических, гостиничных услуг, что угрожает статусу полуострова как современного, высокоэффективного, рекреационного комплекса общегосударственного и международного значения.

Обеспечение конкурентоспособности предприятия возможно только при наличии эффективной политики, поэтому необходимо развивать туристическую отрасль при поддержке Государственной программы развития курортов и туризма в Республике Крым на 2017–2020 гг., в которой можно выделить следующие перспективные направления:

- обеспечение инновационного развития курортно-туристской сферы на основе государственно-частного партнерства;
- увеличение количества предприятий санаторно-курортного и туристского комплекса, работающих круглогодично;
- создание единой туристско-информационной сети Республики Крым;
- повышение качества предоставляемых туристских услуг;
- формирование современной, конкурентоспособной, прозрачной (легальной) структуры туристского бизнеса;
- приведение качества обслуживания в соответствие с международными стандартами;
- продвижение туристского продукта Республики Крым на международном и внутреннем туристских рынках;

Развитие туристической отрасли в Крыму позволит привлекать инвесторов для развития курортно-рекреационной сферы, в том числе и гостиничного бизнеса. Крым должен стать единым туристическим кластером, который будет вносить существенный вклад в формирование бюджета и валового внутреннего продукта страны.

Литература

1. **Барзыкин Ю. А.** Актуальные вопросы развития туристической индустрии в России / Ю. А. Барзыкин — 2015 г.
2. **Рынок гостиничного хозяйства Республики Крым:** экономический доклад. — Симферополь: Главное Управление статистики, 2016 г.
3. **Государственная программа развития Республики Крым 2017–2020 гг.** — [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://mtur.rk.gov.ru/>.

Д. О. Борисенко, студ.;
рук. В. А. Епифанов, д.э.н., профессор (НИУ «МЭИ»)

ВОПРОСЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕГО КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

В Российской Федерации инновационный путь развития определен как приоритетное направление повышения конкурентоспособности национальной экономики. В условиях глобализации и международной конкуренции инновационный вариант развития российской экономики является фактически безальтернативным.

В Российской Федерации имеются значительные различия в уровне социально-экономического развития территорий, при этом они могут достигать существенных разрывов. Сохраняющийся высокий уровень дифференциации социально-экономического развития субъектов Российской Федерации ведет к ежегодным потерям 2–3% ВВП.

Актуальность инновационного развития регионов продиктована как внутренними проблемами (необходимостью обеспечения экономически сбалансированного развития территории страны), так и внешними факторами, так как именно от инновационной активности и инновационной восприимчивости региональных экономик и отраслей зависит стратегическая конкурентоспособность России в мировой экономике.

Переход на инновационный путь развития стал возможен благодаря созданию национальных инновационных систем (НИС). Обобщение отечественного и зарубежного опыта показывает, что НИС представляет собой, по своей сути, институциональную основу инновационного развития национальной экономики, создающую необходимые условия и ресурсы для эффективной научной, научно-технической и инновационной деятельности в стране. Она охватывает всю совокупность субъектов и объектов научно-инновационной деятельности в базисных сферах экономики: науке, образовании, производстве, рынке и комплекс институтов правового, финансового, социального характера, обеспечивающих инновационные процессы. Однако формирование национальной инновационной системы целесообразно осуществлять, начиная с региональных инновационных систем, учитывающих ресурсную обеспеченность и инновационный потенциал территорий.

Литература

1. **Епифанов В. А. и др.** Основы общего менеджмента и тенденции его развития на современном этапе. Методологические и организационно правовые основы менеджмента: рпк Карт Бланш Технолоджи, 2017.

Е. Э. Чегасов, студент; рук. С. В. Белоусов, к.т.н., доц.

УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННЫМИ ПРОЕКТАМИ В КОМПАНИЯХ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА В ИНТЕРЕСАХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Основная характеристика обеспечения энергетической безопасности государства является устойчивость электросетевого сектора к внешним и внутренним угрозам.

Деградация отечественного энергомашиностроения, обусловленная ухудшением условий деятельности предприятий отрасли в 1990–2000 гг. является главной причиной сложившейся ситуации с отечественным оборудованием (рис. 1).

Одной из мер решения данной проблемы являются выпущенные Правительством Российской Федерации постановления № 218 и № 1312 по программам финансирования проектов с проведением научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (далее — НИОКР) [1, 2]. Ожидается, что введение этих субсидий позволит в 1,5–2 раза увеличить интенсивность затрат на технологические инновации организаций промышленного производства в рамках комплексных инвестиционных проектов в интересах импортозамещения.

В работе рассматривается проект организации производства оборудования электросетевого комплекса. Целью работы является подготовка проекта для реализации в рамках государственной поддержки НИОКР и участие в конкурсах на получение субсидий.

Работа включает исследование рынка электрооборудования в Российской Федерации, потребностей заинтересованных сторон в организации современного отечественного производства, а также разработку финансово-экономической модели, обосновывающей эффективность затрат на НИОКР и капитальных вложений.

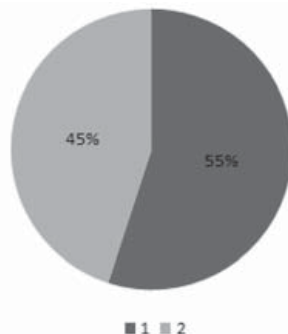


Рис. 1. Доля импортозависимости электросетевого комплекса на 2016 г.: 1 — Отечественное; 2 — Импортное

Литература

1. О мерах государственной поддержки развития кооперации российских организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций: Постановление Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. N 218, ред. от 12.10.2012.
2. О предоставлении субсидий из федерального бюджета российским организациям на компенсацию части затрат на проведение НИОКР по направлениям гражданской промышленности в рамках реализации инвестиционных проектов: Постановление Правительства РФ от 30 декабря 2013 г. N 1312, ред. от 09.01.2014.

М. А. Чиненов, студ.;
рук. М. О. Коробко к.э.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

УПРАВЛЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬЮ АВИАКОМПАНИИ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ АВИАПЕРЕВОЗОК

В рыночной экономике именно конкурентоспособность является основным фактором коммерческого успеха предприятия. Разработка новых перспективных стратегий обеспечения конкурентоспособности становится в с каждым днем все более актуальной.

Конкурентоспособность предприятия — это его способность превзойти конкурентов в заданных условиях рынка. Она характеризуется потенциальными возможностями обеспечения доходности своего бизнеса в долгосрочной перспективе.

Руководству организации необходимо периодически проводить оценку уровня конкурентоспособности своей компании с целью обеспечения жизнеспособности и постоянного функционирования предприятия при любых обстоятельствах. Наиболее комплексной является методика оценки уровня конкурентоспособности предприятия.

Состояние гражданской авиации является одним из ключевых индикаторов развития экономики любой страны, особенно такой как Россия. Вклад рынка услуг гражданской авиации в развитие национальной экономики является огромным, так как отрасль обеспечивает заказами авиационную промышленность, топливно-энергетический комплекс, генерирует спрос на значительные интервенции финансового сектора.

Конкурентоспособность авиакомпании отражает ее способность более полно отвечать требованиям потребительского спроса в сравнении с аналогичными авиакомпаниями и определяется, в первую очередь, следующими показателями: состояние авиапарка, маршрутная сеть, безопасность полетов, пунктуальность, качество сервиса, тарифная политика, имидж и репутация, коммуникационная политика, система сбыта авиабилетов, Интернет-сайт и фирменный стиль авиакомпании.

Преимущество в конкурентной борьбе получает та авиакомпания, которая максимально качественно удовлетворяет потребности своих клиентов, быстро и гибко реагирует на изменение рыночной ситуации, имеет благоприятный имидж и достойную репутацию.

Литература

1. **Кислицына В. В.** Конкурентные преимущества организации. — Киров: Радуга-ПРЕСС, 2013. — 85 с.
2. **Дикарева В. А., Чернышева А. М.** Основы современного маркетинга: учебное пособие. — М.: Граница, 2013. — 268 с.

Ю. А. Федорова, студ.;
рук. Е. А. Терехова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ГРЕЙДИРОВАНИЕ КАК АКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА

В России экономический рост обеспечивается, в основном, природными ресурсами, а человеческим капиталом — только на 8%. [3] Становится очевидным, что в России человеческому капиталу, как основному фактору экономического роста и повышения эффективности деятельности предприятий, уделяется недостаточное внимание. Особую роль развитие человеческого капитала приобретает в торговой сфере.

Центральное место в решении проблемы повышения эффективности и конкурентоспособности предприятий торговой отрасли играет мотивация.

Одним из перспективных направлений совершенствования системы мотивации персонала является разработка и реализация системы грейдов. Такие системы широко применяются на Западе. Однако их применение на отечественных предприятиях требует доработки.

Грейдинг — это современный метод мотивации сотрудников, который основывается на построении должностных уровней, то есть распределении их в иерархической структуре организации по грейдам в соответствии с ценностью данной позиции для компании. [2]

Система грейдинга должностей вводится для того, чтобы [1]:

- Увеличить прозрачность для инвесторов.
- Улучшить систему карьерного роста персонала.
- Улучшить производительность и качество труда.
- Повысить мотивацию персонала.

Система грейдов позволяет связать систему оплаты труда и логику бизнеса организации, увеличить профессиональные, межличностные и психологические контакты коллектива с предприятием.

Литература

1. **Чуланова О. Л., Комарова Е. М., Фламинг Ю.** Методика внедрения грейдинга в систему оплаты труда персонала организации: принципы, подходы, преимущества, риски / О. Л. Чуланова // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук, 2016.
2. **Шалевская Е. Ю.** Внедрение системы грейдинга на предприятии / Е. Ю. Шалевская // Экономинфо, 2016.
3. **Соломанидина, Т. О.** Мотивация трудовой деятельности персонала. 2-е изд., перераб. и доп. Учеб. пособие. / Т. О. Соломанидина, В. Г. Соломанидин. — М.: ЮНИТИ, 2014.

*А. А. Градусова, студ.;
рук. Н. Ф. Солдатова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ МАРКЕТИНГА ПРИ ОКАЗАНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСЛУГ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫМИ КОМПАНИЯМИ

Энергетическая политика России ставит перед собой цель максимально эффективно использования природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора, что закреплено в «Энергетической стратегии России до 2030 г.» и должно способствовать устойчивому росту экономики, повышению качества жизни населения страны и содействию укреплению ее внешнеэкономических позиций.

Востребованность маркетинга в энергетике не вызывает сомнений, но его форма не может не отличаться от своего канонического представления на значительно ранее сформировавшихся рынках товаров и услуг.

Одним из наиболее актуальных маркетинговых инструментов, применяемым на энергорынке является такой инструмент, как деловые коммуникации. Повышение качества применения данного инструмента состоит из решения маркетинговых задач, включающих 4 основных блока. Это — изучение структуры потребностей (анализ уровня удовлетворенности потребителя в информации; глубина сегментации рынка); применение социального маркетинга в практике энергетических компаний; исследование качества инфраструктуры услуги; оценка соответствия тарифов платежеспособному спросу.

Совершенно очевидно, что будущее развитие конкурентного рынка в отечественной электроэнергетике только повысит актуальность применения маркетинговых инструментов в управлении отраслевыми субъектами.

Литература

1. **Солдатова Н. Ф., Михеев Д. В.** Маркетинг в цифрах тенденции мирового рынка генерирующего оборудования тепловых электростанций. Международный научный журнал Экономика. Бизнес. Банки. — 2016. — Том 8. — с. 81–103. (ВАК)
2. **Бороухин Д. С.** Устойчивое развитие системы электроэнергетики в условиях модернизации экономики России (автореферат). М.: ИНФРА-М, 2014 год.

*С. А. Гулиева, аспирант;
рук. Н. Л. Кетоева, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ И МЕТОДОВ МЕНЕДЖМЕНТА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

По всему миру продолжается экспансия систем менеджмента, которая простирается на все большее количество областей и сфер управления, поступательно охватывая все большее количество аспектов деятельности организаций.

Необходимость разработки и внедрения организационно-управленческих инноваций на предприятии электроэнергетической отрасли обусловлена: сложностями и рисками обеспечения эффективности и конкурентоспособности бизнеса; новыми стратегическими целями и задачами; возникновением сложной проблемы управления, требующей новаторского подхода к ее решению [1, 2].

В настоящее время в энергетических компаниях формируются и начинают активно использоваться системы инновационного менеджмента в качестве одной из функциональных систем управления [3]. Эта система предназначена обеспечить реализации инновационной стратегии и политики посредством управления инновациями и процессами их создания.

При создании системы инновационного менеджмента в электроэнергетических компаниях целесообразно применить подходы и принципы менеджмента, неоднократно апробированные и положенные в основу таких международных стандартов, как ISO 9001:2000, ISO 14001:2004, OHSAS 18001:2007, PAS 55, или на интегрированный в международную систему стандартов ISO отечественный стандарт ГОСТ Р ИСО 9001:2001 — Системы менеджмента качества.

Таким образом, несомненным результатом от внедрения системы инновационного энергоменеджмента будет имиджевая привлекательность организации, реализующей политику энергоэффективности, в глазах бизнес-партнеров, населения и органов власти.

Литература

1. **Федеральный закон № 261 от 23.11.2009** «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. **Хохлявин С. А.** Интеграцию систем менеджмента за рубежом облегчают национальные стандарты и практика // Стандарты и качество. — 2007. — № 7. — С. 62–64.
3. Сайт «cyberleninka.ru» // Формирование системы инновационного менеджмента в энергокомпаниях [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-sistemy-innovatsionnogo-menedzhmenta-v-energokompaniyah> (Дата обращения: 22.11.17).

*А. А. Карасева, студ.;
рук. М. О. Коробко к.э.н., стр. пр. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СБЫТОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СФЕРЫ УСЛУГ

В условиях рыночной экономики требования маркетинга не ограничены лишь созданием высококачественного товара, отвечающего запросам потребителей, и верным установлением цены на него. Необходимо довести этот товар до конечных потребителей и сделать его доступным целевому сегменту рынка наиболее эффективным способом. Поэтому сегодня перед компаниями все чаще возникают такие задачи как: поиск новых рынков сбыта и изучение спроса на продукцию, создание эффективной системы управления сбытом, определение оптимального объема продаж, выбор наиболее рациональных каналов товародвижения, разработка программ стимулирования сбыта. Следовательно, сегодня одним из факторов успешного функционирования предприятия на рынке является формирование адекватной стратегии сбытовой деятельности, ориентированной на максимальный учет потребительских предпочтений, на своевременную реакцию на изменения рыночной ситуации и т. п.

Сбытовая политика предприятия — это комплекс мероприятий по планированию и практической реализации методов распространения и распределения товаров от мест их производства до конечных покупателей, а также оценки эффективности предложенных и внедренных инструментов.

Осуществление и координирование сбытовой деятельности — одна из важнейших задач предприятия туристской сферы. Эффективность организации сбытовой деятельности зависит от организации взаимодействия с другими составляющими предприятия — маркетингом в целом, логистикой, сервисными службами. Во многом она зависит и от выбора посредников при продвижении продукции к потребителю. Также при формировании сбытовой политики большое значение имеет решение вопроса о совершенствовании методов работы с конечными потребителями.

Литература

1. **Кожемяко, А.** Принципы организации системы сбыта с позиции стремления к идеальности / А. Кожемяко // Управление продажами — 2013, стр. 134–137.
2. **Безрутченко, Ю. В.** Маркетинг в социально-культурном сервисе и туризме: Учебное пособие, 2-е изд. / Ю. В. Безрутченко. — М.: Дашков и К, 2016. — 232 с.

А. А. Кильдеев, студ.; рук. В. В. Жуков., д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОНЯТИЕ И СУЩНОСТЬ ВНУТРЕННЕГО АУДИТА СМК

В настоящее время под внутренним аудитом предприятия понимается регламентированная внутренними документами организации деятельность по контролю звеньев управления и различных аспектов функционирования организации, осуществляемая представителями специального контрольного органа в рамках помощи органам управления организации [1].

При проведении анализа деятельности СМК в ООО «ВВП» выяснилось, что проблемы связанные с отношением руководства организации к проведению внутренних аудитов и спецификой работы самих аудиторов, являются основополагающими.

Актуальность проблемы внутренних аудитов на предприятии диктуется запросами практики, обусловленными усилившимся в наши дни требованиями к качеству производимой продукции и качеству функционирования самого производственного предприятия, актуальными проблемами эффективной деятельности организации и управления людьми.

Внутренние аудиты являются высшей формой контроля руководством системы менеджмента качества предприятия. Они проводятся для того, чтобы определить соответствие деятельности и результатов в области качества запланированным мероприятиям, требованиям ИСО 9001, а также требованиям, разработанным самой организацией. Результаты внутренних проверок служат основой входных данных для анализа со стороны руководства и позволяют организации декларировать свое соответствие ИСО 9000 [2].

Литература

1. **Бейсова Р. С.** Аудит качества: учебное пособие/ — Ульяновск: УлГТУ, 2014. — 66 с.
2. **Трофимов А. В.** Аудит качества: учебное пособие/ — Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2015. — 96 с.

М. А. Киселева., асп., рук. Н. Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА В ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКЕ



Рис. 1. Защита кандидатских диссертаций по техническим наукам

обеспечить весь инновационный цикл: от проведения научных исследований до внедрения инновационной продукции на промышленных предприятиях.

В рамках реализации стратегии, на конкурсной основе 29 университетам, в том числе 11 техническим, был присвоен статус национального исследовательского университета и выделены средства на реализацию программ развития. Проведя анализ выпуска аспирантов с защитой диссертации по данным [2], представленным на рисунке 1, было выявлено сокращение защищенных специалистов на 54%, что сильно снижает эффективность реализации мер по стимулированию развития российской инновационной экономики.

В силу сложившихся обстоятельств, необходима разработка комплекса мер по привлечению, развитию и стимулированию научного состава с учетом особенностей технических вузов. Основополагающим моментом для решения такой проблемы является создание и внедрение современного организационно-экономического механизма взаимодействия субъектов технического Вуза, где талантливые ребята смогут себя проявить и завершить все три ступени высшего образования, профессорско-преподавательский состав промотивировать и направить, а научное управление поддержать.

Таким образом, ожидаемым эффектом предложенного механизма будет увеличение доли аспирантов и их процента защищенности, а как следствие — повышение конкурентоспособности университета и предприятий-работодателей с дальнейшим совершенствованием научной и инновационной деятельности страны.

Литература

1. Стратегия инновационного развития России до 2020 г.
2. Федеральная служба государственной статистики <http://www.gks.ru>

*М. В. Лысенко, студент;
рук. Н. Ф. Солдатова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОДОЛОГИЯ МАРКЕТИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СТРАХОВАНИИ

В связи с быстрым изменением российской маркетинговой среды в сфере страхования в течение последних лет повышается сложность и важность принятия маркетинговых решений. Эффективность маркетинговых решений определяется качеством и количеством маркетинговой информации, которая собирается, обрабатывается и анализируется в ходе проведения маркетинговых исследований страхового рынка.

Управление страховым маркетингом, учитывая специфику страхования как вида экономической деятельности и особенности страхового продукта-услуги, будет иметь такие ключевые «процессные» составляющие:

- исследования рынка страховых услуг и его сегментирование;
- анализ маркетинговой страховой среды;
- разработка комплекса страхового маркетинга;
- реализация маркетинговых мероприятий.

Маркетинговые исследования страховой услуги и ее рыночного окружения представляет собой: систематические упорядоченные мероприятия по получению оперативной информации и данных, описывающих текущее или перспективное (прогнозный) состояние самой услуги и/или ее маркетингового окружения,

Надо отметить, что исследования рынка и определение его потребностей является целиком и полностью прерогативой страховщика или страховых посредников. Определение потребностей потребителей является основой маркетинговой стратегии компании. [2]

В современных условиях вопрос интегрированной системы сбора и обработки страховой информации, как исходной составляющей страхового маркетинга, и совершенствование этой деятельности для отечественных страховых компаний имеют на современном этапе крайне важное значение.

Литература

1. **Котлер Ф.** Основы маркетинга. Краткий курс.: пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2012. — С. 53
2. **Залетов А. Н.** Рынок страховых услуг населению / А. Н. Залетов // InsuranceTop — 2012. — № 3 (23). — С. 8–18.

Ю. А. Мосорети, студ.; рук. Е. В. Суворова., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДА ГОСУДАРСТВЕННЫХ СЛУЖАЩИХ (НА ПРИМЕРЕ АППАРАТА СОВЕТА ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО СОБРАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ)

Государственная гражданская служба представляет собой деятельность физических лиц, административно-бюрократических структур, направленная на реализацию решений, принятых органами государственной власти [2, с. 64]. Процесс реформирования системы управления трудовыми ресурсами в системе государственной гражданской службы Аппарата Совета Федерации ФС РФ зависит от решения задач и проблем кадрового обеспечения системы государственного управления. Это подразумевает необходимое обращение к анализу ценностных и институциональных областей отечественного государственного управления и чиновничества.

Для того чтобы обеспечить эффективность управления государственными гражданскими служащими Совета Федераций ФС РФ, необходимо менять установки, совершенствовать методы организации труда, формировать результаты деятельности государственных учреждений, что может быть, возможно, только при условии наличия эффективной системы управления человеческими ресурсами [1, с. 176].

Для того чтобы совершенствовать процесс прохождения государственной гражданской службы в Аппарате Совета Федерации были предложены к внедрению в систему управления кадрами методики оценки компетенций сотрудников «Рекорд», совершенствование процедуры проведения аттестации за счет внедрения аттестационной программы государственных служащих Аппарата Совета Федераций, внедрение наставничества. Эти предложения позволят достичь социально-экономическую эффективность, которая будет выражена в повышении удовлетворенности морально-психологическим климатом в коллективе; повышении качества труда; рациональном использовании фонда поощрительных выплат для государственных гражданских служащих.

Литература

1. **Козбаненко В. А.** Государственное управление: основы теории и организации: учебник: в 2 т. Т. 2 / 2-е изд., изм. и доп. — М.: Статут, 2014.
2. **Граждан В. Д.** Государственная гражданская служба: учеб. пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: КНОРУС, 2016.

Е. С. Орлова, асп.; рук. Н. Л. Кетоева, к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЫНКА СПГ-ОБОРУДОВАНИЯ

По прогнозам Института энергетических исследований Российской академии наук и Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации (прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года) — одним из перспективных развивающихся направлений сегодня является рынок сжиженного природного газа (СПГ). По итогам 2016 года объем производства сжиженного природного газа в России составил 10,9 млн. т. В мире — 258 млн т.. Согласно прогнозам, к 2020 году объем производства СПГ достигнет 15,1 млн тонн (прирост составит 38,2%). При этом доля экспортируемого сжиженного природного газа составляет 88,5% от полного объема производства.

В рамках проекта Энергетической стратегии доля России как поставщика СПГ на мировом рынке должна вырасти до 12% (по отношению к сегодняшним 5%). Это представляется возможным благодаря внедрению экспортоориентированных СПГ-проектов. Однако некоторые проекты находятся в состоянии заморозки по ряду причин. Прежде всего экономические санкции США и ЕС привели к возникновению проблем с привлечением инвестиций к проектам. Падение цен на нефть влечет за собой и падение цен на СПГ, что также негативно сказывается на окупаемости инвестиций. И наконец вопрос импортозамещения.

Положение осложняется недостатком в России технологий добычи и обработки сжиженного природного газа. На действующих заводах по добыче СПГ, а также в планах строящихся — используется в основном зарубежное оборудование, так как российские аналоги в этой отрасли фактически отсутствуют.

Описанная проблема и обуславливает актуальность исследования динамики развития рынка СПГ и СПГ-оборудования.

Литература

1. Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://ac.gov.ru>;
2. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года;
3. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года. ФГБУН «Институт энергетических исследований Российской академии наук» и АНО «Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации».

*Е. Н. Панчехин, студ.;
рук. В. А. Епифанов, д.э.н. проф. (НИУ «МЭИ»)*

СИСТЕМА МОТИВАЦИИ В ПРАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БАНКА

В практической деятельности банка, который использует системы мотивации для своих сотрудников, в зависимости от конечной цели могут быть использованы различные мотивационные методы и инструменты [1]:

- материальная мотивация предусматривает материальное поощрение сотрудников, то есть финансовое вознаграждение, которое может иметь вид сдельной заработной платы, проценты от продаж;
- премиальные выплаты за определенные заслуги или при достижении каких-либо установленных планов;
- в материальной мотивации может быть применен инструмент депремирования, проще говоря, штрафная система;
- психологическая мотивация, которая представляет собой определенные методы воздействия похвалой, одобрением, поддержкой, признанием заслуг сотрудника перед компанией, а также методами порицания за трудовые или дисциплинарные проступки.

Психологическая мотивация как метод нематериальной мотивации также предполагает психологическую поддержку работника в трудной для него ситуации, уважение и доверие к его личности и выполняемой им работе. Соответственно, в практике применяются три ключевых подхода к выбору мотивационной политики [2]: стимулирование и наказание, мотивация через работу, определение целей и обратная связь.

Литература

1. **Галкина Т. П.** Социология управления: От группы к команде: Учеб. пособие. / — М.: Финансы и статистика, 2012. — 224 с.
2. <http://www.dissercat.com> Совершенствование системы мотивации трудовой деятельности работников предприятий // Dissercat

*В. А. Панова, студ.;
рук. Н. Ф. Солдатова, к.э.н., доцент (НИУ МЭИ)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ И ТЕХНОЛОГИИ PR ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОБРАЗА КОМПАНИИ В ОТРАСЛИ (НА ПРИМЕРЕ ОАО «ЧМПЗ»)

В условиях жесткой рыночной борьбы позитивный имидж играет важную роль в обеспечении конкурентоспособности предприятия. На сегодняшний день, в условиях роста значения факторов внеценовой конкуренции и проникновения коммуникаций во все отрасли существования общества, большую значимость имеет сфера деятельности, которая отвечает за анализ и формирование коммуникационной среды, то есть Public Relation (связи с общественностью).

Практическая часть исследования проводилась на базе деятельности предприятия ОАО «ЧМПЗ», которое показало, что компания «ЧМПЗ» проводит активную PR-деятельность среди различных групп общественности. Опрос потребителей показал, что ОАО «ЧМПЗ» имеет положительный имидж среди покупателей, однако, наличие нейтральных и отрицательных отзывов говорит о том, что необходимо использовать дополнительные PR-инструменты для формирования положительного имиджа компании среди потребителей, которые являются приверженцами конкурентных торговых марок, и расширения круга своих покупателей.

В рамках мероприятий по совершенствованию деятельности службы маркетинга был предложен комплекс мероприятий по формированию внутреннего и внешнего имиджа компании, каких как: информирование сотрудников о миссии и стратегических целях компании с помощью информационных стендов либо плакатов, а также упоминания на рабочих собраниях; повышение уровня информационной открытости руководства; создание системы обратной связи с персоналом; размещение наружной социальной рекламы; продвижение официальных публичных групп в социальных сетях; проведение благотворительных мероприятий; установка веб-камеры с прямой трансляцией на официальный сайт «ЧМПЗ».

Внедрение дополнительных PR-мероприятий будет способствовать развитию положительного имиджа ОАО «ЧМПЗ» среди потребителей, а также достижению экономического и имиджевого эффекта, что подтверждается приведенными в работе расчетами. Поэтому мероприятия, предложенные в ходе исследования, имеют практическую значимость и могут быть применены для совершенствования имиджа ОАО «ЧМПЗ» в отрасли.

Литература

1. **Алешина И. В. Киселев Б. Н.** Связи с общественностью: Учебная программа. — М.: ГАУ, 2015. — 198 с.
2. **Бортник Е. М. Коротков Э. М., Никитаева А. Ю.** Управление связями с общественностью: Учебное пособие. — М.: ФБК-ПРЕСС, 2015. — 128 с.
3. **Чумиков А. Н.** Связи с общественностью. — М.: Дело, 2016. — 118 с.

Е. С. Повернова, студ.; Н. Е. Русанова, д.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОСУДАРСТВЕННЫХ ЗАКУПОК ПОСРЕДСТВОМ ЭЛЕКТРОННЫХ ТОРГОВЫХ ПЛОЩАДОК (НА ПРИМЕРЕ «B2B CENTER»)

Взаимоотношение между распорядителями и получателями бюджетных средств по поводу поставок необходимой для государственных нужд продукции, выполнения работ, оказания услуг строится через систему государственных закупок. Эту систему следует рассматривать как идеологию формирования и исполнения расходной части государственного бюджета, как важнейший элемент системы управления финансовыми ресурсами государственных учреждений.

Необходимо сказать, что в виду принятия 44-ФЗ, большинство государственных закупок должны осуществляться в электронной форме посредством электронных торговых площадок [1]. Данные меры были приняты для уменьшения коррупции и стимулирования конкуренции за счет принципа открытости участия в государственных закупках.

Действующие электронные торговые площадки остаются одним из малоосвоенных пространств бизнеса. Огромный потенциал роста заложен в онлайн-торговле, необходимо активное освоение как для коммерческих организаций, так и для государственных. Именно с помощью ЭТП появляется возможность осуществлять государственные закупки с наибольшей эффективностью [2].

В качестве способа повышения эффективности за счет повышения конкуренции среди участников государственных закупок на электронной торговой площадке «B2B Center» предложено ввести организационные, методологические и информационные инструменты для автоматизации формирования всех необходимых форм и документов на всех стадиях закупочного процесса. При введении данных мер уменьшится количество дисквалифицированных участников, в следствии чего повысится конкуренция в аукционах.

Литература

1. **Федеральный закон от 05.04.2012 44-ФЗ** «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд»
2. **Андреев Н. Ю.** Методология управления процессами формирования и размещения заказов в системе электронных торгов: дис. — М: 2016

М. С. Прилипухова, студ.;
рук. В. В. Жуков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ДОКУМЕНТООБОРОТА НА ФГУП ЦНИИМАШ ПРИ ВНЕДРЕНИИ СМК

Документооборот это движение документов на предприятиях с момента их создания или пучения до завершения этапа исполнения или отправления [1].

Система менеджмента качества это совокупность организационной структуры, методик, процессов и ресурсов предприятия, совокупно представляющих систему руководства и управления предприятием применительно к установленным государственным стандартам качества.

Выпуск конкурентоспособной продукции, обладающей высокими показателями качества, сегодня требует от предприятия, в том числе и четкой организации системы документооборота, как составной части сертифицированной системы менеджмента качества соответствующей стандартам ISO серии 9000 [2].

Организация системы документооборота является основой для достижения поставленных целей в области создания и выпуска продукции высокого качества, принятия рациональных административных и управленческих решений, повышения эффективности деятельности предприятия в целом, обеспечения контроля и неукоснительного исполнения, принятых руководством решений, а так же определение ответственности. Сегодня система документооборота на предприятии увеличивает свое влияние в связи с развитием систем электронного документооборота и расширяет границы ее возможностей.

С целью сохранения конкурентоспособности своей научно-технической продукции и обеспечения выполнения требований заказчиков и потребителей, ФГУП ЦНИИмаш проводит работы по сохранению и развитию своего уникального научно-технического потенциала, обеспечивает соответствие системы менеджмента качества установленным требованиям и повышение ее результативности [3].

Особенно предприятие заинтересовано в интеграции системы менеджмента качества (ISO 9001: 2008), систем экологического менеджмента (ISO 14001: 2004) и систем менеджмента безопасности труда и охраны здоровья (OHSAS 18001: 2007).

Литература

1. **Кугушева Т. В., Ласкова Т. С., Механцева К. Ф.** Делопроизводство: учебное пособие / Д: Феникс, 2017. — 296 с.
2. **Зекунев А. Г.** Управление качеством: учебник и практикум для СПО / Издательство Юрайт, 2016. — 475 с.
3. **Инструкция по делопроизводству ФГУП ЦНИИмаш 2015 (171) — 65 с.**

А. Ю. Ракчев, студ.; рук. В. В. Жуков д.т.н. проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СМК (НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИИ «CALL-ЦЕНТР SAMSUNG ELECTRONICS»)

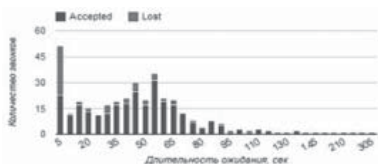


Рис. 1. График длительности ожидания

Call-центр — это совокупность аппаратных и программных средств и алгоритмов, предназначенных для регистрации заявок пользователей (поступающих по телефону или с помощью других средств связи — радио, пейджинговая связь и т.д.), их маршрутизации, контроля решения задач и выдачи результирующей информации пользователю [1, с. 77].

К наиболее важным задачам call-центров обязательной необходимостью является правильно принимать и обрабатывать поток входящих вызовов (рис. 1).

CRM-системы — это специфические компьютерные программы, позволяющие планировать задачи и контролировать их выполнение, вести учет клиентов, хранить документацию по проектам и автоматизировать ее создание [2].

Преимущества, которые получает компания, чья CRM-система интегрирована с телефонией:

1. click to call. Исходящий звонок в один клик прямо из карточки контрагента. Это удобно и оптимизирует время работы менеджера.
 2. распознавание клиента при входящем звонке;
 3. отображается название;
 4. открывается карточка контрагента;
 5. вся входящая информация моментально фиксируется во время звонка.
 6. отображается место положения звонившего.
- Внедрение CRM позволит увеличить пропускную способность на 20–30%.

Литература

1. Яшин С. Н., Кошелев Е. В., Макаров С. А. Анализ эффективности инновационной деятельности: учебное пособие / — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 237 с.
2. <http://elibrary.ru>

*Р. А. Рогачев, студент;
рук. М. В. Патуроев, к. т. н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ САНИТАРНОЙ ОЧИСТКИ И УБОРКИ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ

Все возрастающее количество отходов, их беспорядочное и бесконтрольное складирование оказывает отрицательное воздействие на состояние здоровья населения и на окружающую среду. При этом непродуманное обращение с отходами может привести к серьезным экологическим последствиям.

Актуальность данной проблемы обусловлена тем, что сегодня во всем мире одной из наиболее важных является проблема рационального управления отходами.

С развитием инфраструктуры городских поселений и населенных пунктов и под влиянием социально-экономических факторов характеристики состава и свойств отходов потребления изменяются весьма активно [1].

Практически повсеместно применяется смешанная система сбора твердых бытовых отходов, при которой все отходы без предварительной сортировки собираются в контейнеры и бункеры. При использовании такой системы значительно снижается объем выбора вторичных ресурсов. Смешанная система в дальнейшем оказывает негативное влияние на эффективность систем сортировки и захоронения твердых бытовых отходов.

Чем выше будет доля граждан, участвующих в сортировке отходов в местах их образования, тем ниже будут издержки на переработку отходов.

Таким образом, переработка отходов, собранных отдельно, даже с учетом дополнительных затрат на организацию раздельного сбора, позволяет почти в два раза снизить объем остаточных отходов и вдвое снизить затраты на переработку отходов.

Между тем, полностью раздельный сбор отходов невозможен. Таким образом, на практике может быть реализован промежуточный вариант, предусматривающий переработку как раздельно собранных, так и смешанных отходов.

Литература

1. **Шубов Л. Я.** / Технология твердых бытовых отходов: учебник. — М.: Альфа-М, 2016. — 400.

*А. М. Сабурова, студент;
рук. Е. А. Терехова, к.э.н., доцент (НИУ МЭИ)*

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Динамичная система современного рынка требует от предприятий постоянного совершенствования своих систем управления и информационных систем их поддержки. Разработка и внедрение ИТ требует больших единовременных затрат, затрат эксплуатационных и человеческих.

Информационные технологии (ИТ) — процессы, методы поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления, распространения информации. [1]

Для оценки результативности ИТ необходима методика, способная продемонстрировать отдачу ИТ, подтверждающая, что принимаются наиболее продуктивные и экономически оправданные решения из всех.

Из многообразия методических подходов к оценке результативности применения ИТ в управленческой деятельности (УД) целесообразно выделить формальный, качественный, количественный и системный подходы.

Формальный подход определяет малые неосязаемые выгоды от применения ИТ, оправдывающие затраты, позволяет установить связи между элементами рассматриваемого процесса. Необходимо учитывать результативность применения ИТ в динамике нефинансовых показателей.

Системный подход рассматривает предприятие как систему, состоящую из взаимосвязанных элементов. Объект — это целостность, дифференцированная на элементы, взаимодействуя, образуют иерархическую структуру: количественные и качественные связи, функциональные взаимосвязи [2]

Количественный подход исследует операции при помощи математических и статистических методов, качественный подход основан на сборе, обработке, анализе информации на основе мнения экспертов, фокус-групп.

Оценить эффективность применения ИТ можно 3 группами методов:

- классические методы предполагающие определение экономических показателей, таких как NPV, IRR, Payback, EVA;
- затратные методы оценки, например (ТСО), RCO, ТСА;
- комплексные методы оценки набора финансовых и нефинансовых показателей эффективности KPI, такие как (BSC), модель «стейкхолдер».

Таким образом, можно сделать вывод, что системный подход является самым подходящим для определения результативности применения ИТ в УД за счет объединения в себе комплекса других методов оценки.

Литература

1. **Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ** (ред. от 06.07.2016) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».
2. **Бакулина М. С.** Системный и комплексный подходы: сходство и различие // Вестник КГПУ им. В. П. Астафьева. 2011. (2) — 396 с.

М. С. Сафонова, студ.; рук. Е. В. Суворова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

УПРАВЛЕНИЕ ТОВАРНЫМ АССОРТИМЕНТОМ ПРЕДПРИЯТИЯ

Актуальность темы исследования заключается в необходимости изучения маркетинга, как инструмента экономического развития предприятия. Главная задача предприятия — удовлетворить потребности общества в определении видах продукции, поэтому формирование и управление товарным ассортиментом важно. С экономической точки зрения, ассортимент — это, прежде всего, отражение межотраслевых и отраслевых пропорций в составе товарного предложения. Ассортимент наиболее полно характеризует результаты деятельности предприятий и отраслей, производящих товары народного потребления, и торговли по организации производства этих товаров и должен рассматриваться как один из важнейших факторов, определяющих степень сбалансированности спроса и предложения на конкретном товарном рынке [1].

Основной задачей в деятельности производителя в рамках товарной политики является управление разработкой и предложением потребителям товаров, которые удовлетворяют их потребности. Однако на рынке предложение товаров с аналогичными функциями осуществляется, как правило, несколькими производителями. Любая фирма заинтересована, чтобы именно товары ее производства наилучшим образом удовлетворяли потребности клиентов, т.е. являлись конкурентоспособными. В качестве одной из задач товарной политики можно сформулировать управление конкурентоспособностью товара. Даже самый конкурентоспособный товар со временем сдает свои позиции, если производитель не адаптирует его характеристики к изменяющимся вкусам потребителей. Поэтому задачей товарной политики является управление жизненным циклом товара. Потребители, как правило, не едины в своих предпочтениях. Стремление увеличить потребление существующего товара за счет новых областей его использования и новых сегментов рынка определяет важнейшую задачу товарной политики — управление ассортиментом и номенклатурой [2].

Литература

1. **Алексеев Н. С.** Теоретические основы товароведения непродовольственных товаров. — М., Прогресс, 2015. — 254 с.
2. **Волгин В. В.** Склад: организация и управление — М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К0», 2016. — 400 с.

И. Е. Сигачев, студ.;
рук. С. А. Хризолитова., к. т. н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ КАДРОВОГО АУДИТА В ОРГАНИЗАЦИИ

В настоящее время каждая организация сталкивается с проблемой управления персоналом, именно поэтому очень важное внимание уделяют вопросам практического применения современных форм и различных методов такого управления, которые позволяют повысить социально-экономическую эффективность любого производства. Примером такого производства является предприятие АО «ММП им. В. В. Чернышева».

Несоответствия и неэффективность управления кадровым звеном предприятия или его отдельных структурных подразделений может выявить кадровый аудит, проводимый с целью оценки соответствия структурного и кадрового потенциала организации ее целям и стратегии развития. [2]

Целью проведения кадрового аудита в отделе по ремонту производственного оборудования предприятия было выявление несоответствия кадровой политики исследуемого отдела целям предприятия АО «ММП им. В. В. Чернышева».

В качестве основных мероприятий в проведении кадрового аудита в отделе по ремонту производственного оборудования:

1. Выявление несоответствий в политике управления персоналом отдела.
2. Предложение рекомендаций по устранению выявленных несоответствий. [1]

Затраты на проведения кадрового аудита в исследуемом отделе составят 34151,5 руб.

После учета всех предложенных рекомендаций деятельность цеха поможет предприятию свести к минимуму затраты от простоев производственного оборудования, которые до проведения аудита составляли около 35 млн руб./мес.

Проведенные исследования имеют практическую направленность, результаты могут быть использованы на предприятии для повышения результативности его деятельности.

Литература

1. **Сайт компании** [Электронный ресурс]//<http://www.avia500.ru>
2. **Одегов Ю. Г., Карташова Л. В.** Управление персоналом, оценка эффективности: Учеб. пособие для вузов. — М.: Экзамен, 2012. — 214 с.

И. В. Соловьев асп.; рук. Н. Ф. Солдатова к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕРЕЖЛИВОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Современный этап развития экономики на базе нового технологического уклада и эффективных рыночных институтов требуют высокой конкурентоспособности продукции российских предприятий. В этих условиях бережливое производство активно внедряется в Государственной корпорации «РОСАТОМ», но если на производственных предприятиях корпорации видны изменения в части «бережливости», то конструирующие, разрабатывающие конструкторскую и проектную документацию организации мало используют концепцию «бережливого» производства. В мини-исследовании представлена модель повышения «бережливости» именно разработки продукции, которую можно внедрить в «малые» коллективы (до 150 человек). Впоследствии, эту модель можно будет использовать на более крупных предприятиях.

Выявлены особенности организации «Бережливого производства» на российских промышленных предприятиях, которые и обусловили новизну исследования: цикл производства оборудования для объектов использования атомной энергии, включает в себя помимо технического задания и разработки, еще и обоснование безопасности конструкции. В обосновании безопасности приводятся различные расчеты (ядерная безопасность, сейсмическая стойкость, пожарная безопасность, падение). Все эти задачи выполняют разные группы сотрудников. В мини-исследовании представлен вариант сокращения временных потерь при передаче информации из одного подразделения в другое, а так же при изменении в техническом задании, которые произошло на позднем этапе разработки продукции.

Управление организацией «Бережливого производства» на предприятии — это процесс управления предприятием, направленный на активизацию персонала, снижение потерь, эффективное управление ресурсами, концентрацию на нуждах заказчика, что в совокупности позволяет предприятию выйти на мировой уровень конкурентоспособности. [1]

Литература

1. Солдатова Н.Ф., Орлова Е.С. Теоретические аспекты конкурентоспособности предприятий энергосектора. Обзорно-аналитический, научно-практический журнал «Экономика и управление в машиностроении» 1(43) январь-февраль 2016, М: ПАО «Т8 Издательские технологии», 2016. С. 56–58.

К. В. Сошникова студ.; И. А. Халиков ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДОВОГО ПРОЦЕССА

Актуальность проблемы изучения инновационных процессов продиктована необходимостью создания такой системы, которая позволит в кратчайшие сроки и с высокой эффективностью использовать на предприятии интеллектуальный и научно-технический потенциалы.

Особенности управления инновационной деятельностью, с одной стороны, обусловлены наличием научно-исследовательских и проектных работ; с другой — их рискованность: возможно появление неожиданных факторов, а значит нарушение сроков, перерасход ресурсов, не достижение запланированных целей, закрытие инновационного проекта.

Согласно П. Друкеру, рассматривают семь областей анализа, служащих источниками инновационных идей:

- неожиданное событие для фирмы или неожиданное событие во внешней среде;
- несоответствие между реальностью и нашими представлениями о ней;
- нововведения, которые планируются заранее;
- внезапные изменения в структуре отрасли или рынка;
- демографические изменения;
- изменения в ценностных ориентациях людей, их настроениях и социальных установках;
- новые знания, полученные как научным, так и практическим путем.

Поставлены и решены задачи проекта: на основе нормативной документации проведен анализ внутренних и внешних ресурсов ОУ; определены необходимые изменения в образовательной системе; разработана система менеджмента качества образования.

Современные тенденции реформирования общего образования Москвы предоставляют инновационной школе возможности существенно повысить эффективность образовательного процесса путем оптимизации ресурсного обеспечения и реализации собственных программ управления качеством образовательного процесса.

Литература

1. **Андрейчиков А. В.** Системный анализ и синтез стратегических решений в инноватике: Основы стратегического инновационного менеджмента и маркетинга: Учебное пособие / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. — М.: КД Либроком, 2013. — 248 с.

А. С. Терехова, студ.;
рук. Е. А. Терехова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА МЕХАНИЗМОВ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ ОРГАНИЗАЦИИ

В условиях высокой степени неопределенности внешнего окружения возрос интерес к проблемам стратегического управления предприятия. Под влиянием возрастающей внутренней и внешней конкуренции, высокой подвижности рыночной среды предприятия должны не просто иметь стратегический менеджмент и формировать стратегии, но и выстроить систему механизмов, которая бы позволяла реализовать разработанную стратегию, так как даже очень хорошая стратегия вовсе не гарантирует того, что она будет реализована.

Для реализации выбранных стратегий организация должна формировать систему механизмов, соответствующих основным структурам организации и функциям управления. На практике эти механизмы настолько взаимосвязаны между собой, что трудно выделить какую-либо составляющую, которая бы не содержала в себе элементы других составляющих. Поэтому система механизмов сформирована по принципу однородности на основе главных признаков, в частности, организационных, экономических и мотивационных.

Механизмы реализации стратегии, разрабатываемые на предприятии, должны обладать свойством целостности и, одновременно, рациональной обособленности его элементов. Это означает, что изменение любого элемента механизмов должно приводить к некоторым сдвигам в изменениях других механизмов. При этом некоторая обособленность отдельных элементов механизмов реализации стратегии должна позволять компенсировать издержки, относящиеся к другому механизму. Таким образом, все предложенные механизмы должны быть включены в единую систему стратегического управления как элементы общей системы управления.

Литература

1. **Ансофф И.** Новая корпоративная стратегия / пер. с англ. СПб.: Питерком, 2014. 416 с.
2. **Ансофф И.** Стратегическое управление / пер. с англ. М.: Прогресс, 2015. 519 с.
3. **Круглова Н. Ю.** Инновационный менеджмент / под научн. ред. Д.С. Львова. М.: Ступень. 2011. 290 с.

Т. М. Тряпкина, студент; рук. М. В. Патуроев, к.т.н., доцент (НИУ МЭИ)

К ВОПРОСУ О КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ НАЛОГОВОЙ СИСТЕМЫ ГОСУДАРСТВА

Налоговая конкуренция — вид конкуренции, затрагивающий сферу регулирования и возникающий при определенных условиях — правительство страны либо снижает налоговое бремя, либо стимулирует приток инвестиций (как правило — иностранных), производственных ресурсов, либо препятствует их оттоку (как правило — внутренних). В большинстве случаев налоговая конкуренция возникает при избрании государством стратегии привлечения прямых или косвенных зарубежных инвестиций (денежных средств): иностранные инвестиции и высокая стоимость человеческих ресурсов благодаря минимизации налогообложения и/или предоставления специальных налоговых льгот позволяют сделать страну конкурентоспособной. Конкурентоспособность налоговой системы может протекать в самых различных формах, все зависит от ряда внешних условий.

В настоящее время налоги являются главным доходом практически любого государства. Источники налоговых поступлений и их относительный вклад в экономику страны определяются выбором правительства той или иной налоговой политики, формирующей налоговую нагрузку и отражающей изменения в структуре экономики в мире и в конкретной юрисдикции.

Важно понимать, что не существует идеального уровня налогообложения. Насколько бы не было простым заполнение налоговых деклараций, насколько бы не была низкой налоговой нагрузка, конкретному хозяйствующему субъекту она будет субъективно казаться обременительной.

Чтобы проанализировать насколько налоговая система Российской Федерации конкурентоспособна на сегодняшний день, необходимо проанализировать рейтинги, созданные в рамках проекта «Ведение бизнеса», которые позволяют оценить и сравнить работу налоговой системы некоторых стран.

Сравнение данных в изданных отчетах 2016 и 2017 годов говорит, что по показателю «Налогообложение» Российская Федерация улучшила свою позицию, поднявшись с 47 на 45 место. Расстояние до лучшей практики также улучшилось с 81,6 до 82,96.

Литература

1. **Налоговый Кодекс РФ** от 31 июля 1998 года N 146-ФЗ.
2. **Федеральный закон от 21.03.1991 N 943-1** (ред. от 03.07.2016) «О налоговых органах Российской Федерации».
3. **Единый стандарт обслуживания налогоплательщиков**: Приказ ФНС России от 15.10.2010 г. №ММВ-7-10/478@//СПС: КонсультантПлюс.
4. Основные направления налоговой политики Российской Федерации на 2016 год и плановый период 2017 и 2018 годов.

*Е. С. Цибалитова, студ.;
рук. Н. Ф. Солдатова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ФОРМИРОВАНИЕ ИМИДЖА ОРГАНИЗАЦИИ КАК НАПРАВЛЕНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Имидж — это то, каким образом потребители воспринимают организацию. При его формировании необходимо знать четкую структуру и стоит обращать внимание на психологические особенности восприятия индивидов [1].

Необходимо сказать, что в виду усиленной конкуренции, предприятиям необходимо уделять достаточное внимание своему имиджу, как сложившемуся давно, так и при формировании нового, так как в современном мире — это залог процветания компании [2].

Формироваться имидж начинает сразу же при выходе компании на рынок [2].

Анализ имиджа начинается с построения корректного семантического ядра, соотносящегося с брендом. Перечень ключевых запросов, входящих в семантическое ядро, служит для определения виртуального поискового пространства сети, в котором бренд может быть потенциально интересен целевым потребителям.

В этом пространстве каждый конкурирующий за целевого потребителя бренд занимает определенную долю, которая и может быть вычислена. Отсюда частной задачей развития имиджа может быть динамическое увеличение доли бренда в семантическом пространстве сети в абсолютном и относительном выражении.

Отдельно решается вопрос анализа спонтанно распространяемых мнений о компании (ее товарах, услугах, компетенциях и пр.) и целенаправленного формирования мнений. Это задача управления репутацией. В ходе решения этой задачи анализируются все доступные открытые и закрытые ресурсы сети.

Литература

1. **Фомичева Л. М., Железняков С. С., Чаплыгина М. А., Безуглая Е. В.** Маркетинг учебное пособие. — Юго-Зап. гос. ун-т., 2016. — 202 с.
2. **Москаев А. В., Комарова Е. В.** Имидж как важнейший элемент маркетинговых коммуникаций компании // Экономика. — 2014. — № 6 С. 114–118

П. Е. Ухаботин, студ.;
рук. С. А. Хризолитова, доц., доц. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ

Важнейшим условием успешного развития экономики сегодня является производство конкурентоспособной продукции. На успех на рынке, то есть на успех у потребителя, могут рассчитывать только те производители, которые способны оперативно удовлетворять различные и довольно нестабильны потребности потребителей. Выигрыш конкретному производителю обеспечивают преимущества его системы управления качеством. В последние годы все эти факторы вызвали бурное развитие систем, методов и инструментов менеджмента качества. Их использование позволяет систематизировать работы в области повышения качества, поставить их на научную основу и повысить их эффективность [1].

Они дают возможность объективно оценить пожелания потребителей, преобразовать их в требования к продукции, установить возможности производства, найти слабые места, препятствующие достижению требуемого качества, правильно выбрать корректирующие и предупреждающие действия, оценить удовлетворенность потребителей и других участников данного производства и наметить пути его развития [2]. Только при условии непрерывного улучшения качества продукции предприятие имеет шансы сохранить, а также усилить свои позиции на рынке.

Однако система менеджмента качества нужна только в том случае, если она реально способствует улучшению качества, повышает конкурентоспособность, положительно сказывается на показателях деятельности организации. Создание эффективной системы менеджмента качества позволяет минимизировать риск управленческих решений, а также обеспечить гибкость организации в условиях функционирования рыночной экономики.

Главное преимущество эффективной системы обеспечения качества заключается в том, что она гарантирует портфель заказ производителю, то есть его выживания в условиях рыночных отношений и конкурентной борьбы.

Литература

1. **Васин С. Г.** Управление качеством. всеобщий подход: Учебник для бакалавриата и магистратуры. Люберцы: Юрайт, 2016.
2. **Беляев, С. Ю.** Управление качеством: Учебное пособие для бакалавров. М.: Омега-Л, 2013.

А. В. Ведейкене студ.;
рук. О. В. Колесникова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

КОНКУРЕНТНОЕ ПРЕИМУЩЕСТВО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ ПЕРЕД АНАЛОГОВЫМ

При аналоговом формате вещания тарифы на трансляцию телерадиопрограмм устанавливаются в руб./1 час вещания на каждое техническое средство, участвующее в передаче сигнала. При этом один аналоговый передатчик может вещать только одну программу (теле- или радио- в зависимости от технических характеристик передатчика). Таким образом для трансляции одной программы (рис1) (например, телепрограммы) в круглосуточном режиме требуется один передатчик [2].

Архитектура сети цифрового вещания принципиально отличается от аналоговой. Главное, что необходимо выделить с экономической точки зрения, — один передатчик сможет передавать сразу пакет телерадиопрограмм. Перед РТРС ставится пока задача построения только наземной сети цифрового вещания [1].

В цифровом формате на телеканалах сможет транслироваться местная реклама, что привлечет региональные рекламные агентства. Цифровые передатчики смогут транслировать населению до 20 телеканалов, в то время как аналоговые передатчики иногда могут транслировать только до 3х телеканалов. Это связано с местностью, в которой располагаются населенные пункты. И самое главное что затраты на цифровое телевидение будет ниже, что позволит снизить тариф на него.

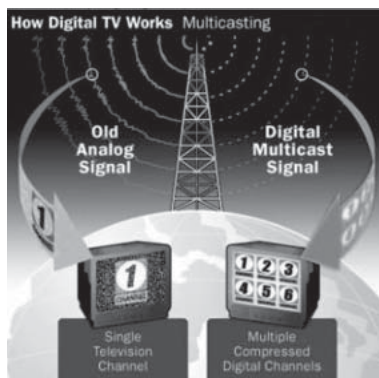


Рис. 1. Аналоговое и цифровое телерадиовещание

Литература

1. Указ президента РФ № 715.
2. Доклад руководителя РТРС 2016.

*В. А. Якушев, студ.; рук. М. А. Свириденкова, к.т.н., доц.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В МЕНЕДЖМЕНТЕ



Рис. 1. Пирамида уровней разделения

Система поддержки принятия решений, или СППР (англ. Decision Support Systems, DSS) — это компьютерная система, которая путем сбора и анализа большого количества информации может влиять на процесс принятия решений организационного плана в бизнесе и предпринимательстве.

Современные системы поддержки принятия решения (СППР) представляют собой системы, максимально приспособленные к решению задач повседневной управленческой деятельности, являются инструментом, призванным оказать помощь лицам, принимающим решения (ЛПР).

Эти системы наиболее эффективны и используются для сведения проблем долгосрочного, стратегического управления к проблемам тактического и краткосрочного характера, повышения управляемости, особенно, в условиях многокритериальности.

На рисунке 1 изображена пирамида уровней разделения, отражающая возрастание власти, ответственности, сложности и динамику принятия решений.

В настоящей работе были рассмотрены задачи для каждого из уровней разделения, выявлены альтернативы. Были сделаны выводы об их преимуществах и недостатках.

Литература

1. Ларичев О. И., Петровский А. В. Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы их развития // Итоги науки и техники. Сер. Техническая кибернетика. — Т. 21. М.: ВИНТИ, 1987, с. 131–164, http://www.raai.org/library/papers/Larichev/Larichev_Petrovsky_1987.pdf

*М. Т. Заргарян, студент;
рук. Н. Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МАРКЕТИНГ ВУЗА КАК ИНСТРУМЕНТ ЕГО УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Современное состояние рынка образовательных услуг России характеризуется следующими основными факторами: продолжающееся усиление конкурентной борьбы между вузами; существенное повышение требований со стороны потребителей к вузу в отношении качества обучения, ориентированности на современный рынок труда, благоприятной образовательной среды, психологического и эмоционального комфорта. Данные факторы диктуют необходимость высшим учебным заведениям прилагать все больше усилий в поиске мер, способствующих привлечению различных сегментов потребителей образовательных услуг.

В связи с необходимостью определения основных факторов, влияющих на выбор вуза и выявление наиболее эффективных источников получения абитуриентами информации об университете, факультетах, направлениях, был проведен опрос абитуриентов ИнЭИ 2017 г. Данные полученные в результате проведенного опроса представлены на рис. 1, показывают, что основным фактором, влияющим на выбор другого вуза, являются личные причины (46,4%), к которым можно отнести наличие бюджетных мест (34%), в приоритете был другой вуз (18%) и совет родителей (12%). Вторым по значимости фактором является удобное территориальное расположение (24,8%). Отказы о том, что легче учиться, являются самым незначительным фактором (1,6%).

Таким образом, только продуманная, четко выстроенная маркетинговая стратегия вуза, учитывающая реальные потребности целевых рынков и общества будет способствовать процветанию вуза и снизить риск неконкурентоспособности в современных условиях.



Рис. 1.

Литература

1. Шеметова Н. К. Маркетинговая стратегия высшего учебного заведения: формирование и оценка эффективности реализации. образование и наука. 2015.

Секция 31

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

*Председатель секции — д.т.н., профессор, каф. ИЭБ А.С. Минзов
Секретарь секции — ассистент И.В. Шуркаева*

И. А. Агуреев студ.; А. Ю. Невский к.т.н доцент (НИУ «МЭИ»)

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБУЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ АНАЛИЗА КАНАЛОВ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ В ПРОВОДНЫХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ

В настоящее время проводные линии были и остаются наиболее массовыми в телефонных и коммутационных сетях. В тоже время они являются объектом массовых атак злоумышленников. Постоянное совершенствование механизмов и технологий реализации атак на телефонные и коммутационные линии связи требуют разработки эффективных механизмов противодействия. Таким задачи сегодня решает цифровой анализатор «Talan», который позволяет проводить универсальное сканирование любых телефонных линий и IP-телефонии на наличие несанкционированного звукового сигнала и определять его местоположение в сети. Комплекс включает:

- Частотный рефлектометр для выявления подключения устройств негласного съема информации в проводных линиях.
- Локатор нелинейностей с поисковым зондом для трассировки линии и локализации электронных устройств.
- Широкополосный детектор радиочастотных сигналов — для тестирования линий на наличия радиочастотных сигналов до 8 ГГц.
- Осциллограф с активным входом (20 Гц — 20 кГц).
- Цифровой мультиметр для измерения параметров линии.
- Автоматический коммутатор для тестирования всех комбинаций пар при подключении многопроводной линии.

Профессиональная работа с комплексом и обучение возможно только с применением имитаторов различных устройств негласного съема информации, работающих по различным алгоритмам ее обработки и передачи. Это потребует научного обоснования методов имитации сигналов и обнаружения их в телефонных сетях с использованием экспериментальных методов исследований.

Литература

1. TALAN 3.0 Owner's Manual Research Electronics International, LLC.

Е. А. Акимова, студ.; рук. А. С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОСТЬЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРАХОВЫХ КОМПАНИЙ

Изучение аспектов обеспечения функционирования организации и сохранение ключевых ресурсов приводит к появлению нового направления в информационной безопасности — концепции управления непрерывностью деятельности (УНД). Непрерывность деятельности [1] — стратегическая и тактическая способность организации планировать свою работу в случае инцидента и нарушения ее деятельности, направленная на обеспечение непрерывности деловых операций на установленном приемлемом уровне

Данный подход основывается на изучении процессов функционирования компании и определении событий — прерывателей, которые могут впоследствии приостановить деятельность предприятия на продолжительный срок.

В Российской практике на данный момент компании только начинают внедрять системы УНД, в то время как для большинства зарубежных компаний это стало уже законодательным и контрактным требованием.

Целью исследования является моделирование процессов создания, внедрения и управления непрерывностью деятельности компании, как одного из важнейших факторов влияния на эффективность деятельности компании, ее репутацию и прибыль.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) проанализировать существующие отечественные и международные требования и рекомендации по УНД;
- 2) провести моделирование процессов и подходов проведения анализа воздействия на бизнес и анализа рисков;
- 3) описать подходы к реализации процессов управления непрерывностью деятельности;
- 4) разработать модели требуемых документов по УНД;
- 5) провести верификацию разработанных моделей на примере страховой компании.

Результатом исследования станет разработанная модель управления непрерывностью деятельности, которая может позволить в последующем автоматизировать данные процессы.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 22301-2014. Системы менеджмента непрерывности бизнеса. Общие требования.

*Р. А. Алексеев, студент;
рук. А. С. Минзов, к. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

О НЕОБХОДИМОСТИ АУДИТА БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ

Актуальность темы исследования определяется тем, что в связи с развитием платежных операций и увеличением количества атак на системы электронной коммерции возросла потребность в профессиональном аудите уязвимостей этих систем.

Под электронной коммерцией будем понимать любые формы деловой сделки, которые проводятся с использованием информационных сетей и специального программного обеспечения, включающего подсистемы выбора товаров (услуг), оформления покупки и проведения электронных платежей.

Информация, вовлеченная в электронную торговлю, проходящая через общедоступные сети должна быть защищена от мошеннической деятельности, а также от неразрешенного раскрытия и модификации. [1].

Цель исследования состоит в разработке алгоритма проведения аудита системы электронной коммерции и оценка его эффективности на практически реализованной модели интернет-магазина. Предполагается, что кроме аудита portalного решения, будет проводиться также и аудит уязвимостей платежных систем.

Для реализации поставленной цели необходимо решение следующих задач:

1. Разработать адаптивную модель интернет-магазина и реализовать на ней сценарии атак.
2. Исследовать основные угрозы и проблемы информационной безопасности в системах электронной коммерции, а также определить область готовых систем portalных решений.
3. Разработать алгоритм аудита серверной части интернет-магазина и его внутренней части с базами данных, программным обеспечением для работы с клиентом.
4. Смоделировать атаки, которые характерны для системы portalных решений.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002-2012 Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Свод норм и правил менеджмента информационной безопасности

*С. В. Бобылева, студент; П. А. Осипов, аспирант
(Государственный Университет «Дубна», Дубна)*

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА РАДИОМОНИТОРИНГА КАССАНДРА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КАНАЛОВ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ

Развитие информационных технологий и массовое внедрение в нашу жизнь киберфизических систем привело к возрастанию угроз информационной безопасности по различным каналам утечки информации. Значительная часть этих угроз приходится на радиотехнические каналы утечки информации от радиомикрофонов и других подобных устройств негласного съема информации. Эти устройства могут работать по сложным алгоритмам с изменением частот, систем кодирования информации, с паузами различной длительности и т. д. Это требует совершенствования методик обнаружения подобных устройств.

Комплекс радиомониторинга «Кассандра» предназначен для постоянного круглосуточного, периодического или оперативного мониторинга радиообстановки для выявления несанкционированных радиоизлучений, в том числе со сложными алгоритмами маскировки [1]. Комплекс «Кассандра» работает с программным обеспечением «RadioInspector», что позволяет проводить мониторинг радиоизлучений и выявлять каналы несанкционированного съема информации.

Целью данного исследования является разработка методики обнаружения утечки информации по электромагнитному каналу в условиях изменяемых режимов работы радиопередающих устройств при помощи программно-аппаратного комплекса «Кассандра».

Исследование заключается в моделировании ситуации утечки информации при помощи многофункционального имитатора сигналов «Шиповник-2», а также с использованием устройств защиты информации от утечки для создания шумовых сигналов и наведенных маскирующих помех. В результате исследования предполагается совершенствование методики обнаружения каналов утечки информации и мониторинга радиообстановки.

Литература

1. STT-group Специальная техника и технологии. Кассандра K6 — комплекс мониторинга и анализа радиосигналов. URL: http://detektor.ru/prod/self/srch/radiomonitoring1/kassandra_k6/Дата обращения: 29.11.2017
2. **Халяпин Д. Б.** Защита информации. Вас подслушивают? Защищайтесь! М.: НОУ ШО «Баярд», 2004

*А. А. Бородина, студент; рук. А. С. Минзов, профессор, д.т.н.
(ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна», Дубна)*

АУДИТ УЯЗВИМОСТЕЙ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ

Электронная коммерция — комплексная интернет-ориентированная система, которая дает возможность автоматизировать взаимосвязи и отношения экономического субъекта и его внешнего окружения. Взаимоотношения между экономическим субъектом и его внешним окружением рассматривается концепцией построения коммерческих отношений Business-To-Consumer (B2C). Суть — все товары и услуги направлены исключительно на конечного потребителя.

Интернет-магазин является самым распространенным инструментом в системах электронной коммерции (СЭК). Отсюда и появляется необходимость в обеспечении безопасности данных систем.

В настоящее время количество атак на СЭК возрастает. Причем злоумышленники начинают действовать не по отработанным схемам, а применяют инновационные методы, совершают постоянные атаки по меняющимся тактикам, и это происходит в пределах не одной страны.

Поэтому, необходимо обеспечивать высокий уровень защиты СЭК. Существуют схемы интернет-эквайринга. На них указывают объекты, их взаимоотношения и порядок проведения безналичной оплаты в СЭК. Но прежде чем защищать СЭК, необходимо понимать какие угрозы, и на каких участках могут возникать. Для этого был проведен анализ угроз и уязвимостей при помощи сайта [www.fstec.ru](http://fstec.ru). Вывод данного анализа следующий:

- атаки происходят удаленно;
- объекты воздействия в основном — сетевое ПО, сетевой трафик;
- угрозы и уязвимости в основном связаны с перехватом информации, введением вредоносного кода.

Схемы, которыми пользуются злоумышленники: программы-вымогатели, фишинг, вредоносные коды, снифферы, «злоумышленник посередине», кардинг и так далее.

Для того, чтобы СЭК была защищенной, нужно обеспечивать безопасность на каждом этапе ее функционирования, также необходимо обновлять инфраструктуру и ПО, необходимо иметь систему оперативного оповещения об опасностях и создать план реагирования на атаки.

Литература

1. Федеральная служба по техническому и экспортному контролю. База угроз и уязвимостей. [Электронный ресурс] <http://fstec.ru/>.
2. Отчет Cisco по кибербезопасности за первое полугодие 2016 г.

Н. В. Черникова, студент; рук. Р. Я. Панцыр, к. т. н. (НИУ «МЭИ»)

СПОСОБ ПАССИВНОЙ ЗАЩИТЫ РЕЧЕВОЙ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОТ УТЕЧКИ ПО АКУСТОПАРАМЕТРИЧЕСКОМУ КАНАЛУ

В связи с интенсивным развитием электронной компонентной базы, методов и средств разработки радиотехнических средств СВЧ диапазона на рынке появились доступные по цене и достаточно миниатюрные закладные устройства для перехвата информации по акустопараметрическому каналу. В связи с этим угроза применения такого типа закладных устройств для перехвата конфиденциальной речевой информации становится все более актуальной.

Основным препятствием к надежной защите от утечки речевой информации по акустопараметрическому каналу является высокая стоимость поискового оборудования, длительное время поиска такого типа закладных устройств в помещении, а также сложный анализ и интерпретация полученных результатов в связи с неблагоприятной помеховой обстановкой в проверяемом помещении.

Учитывая изложенные обстоятельства, в работе для надежной защиты конфиденциальной речевой информации предлагается инновационный инвариантный к форме и оборудованию помещения способ, основанный на учете интерференционной обстановки в помещении в момент его облучения зондирующим сигналом для создания квазиоптимальной помехи. Суть предлагаемого способа заключается в разработке и расположении в помещении полуактивного переизлучателя в широкой полосе частот, на который в виде модулирующего сигнала подается шумовой сигнал, сформированный из акустики защищаемого помещения, но особым образом преобразованный. Таким образом на приемное устройство поста технической разведки поступит смесь сигналов от закладного устройства, промодулированного акустикой защищаемого помещения и шумовой сигнал на той же частоте и с той же полосой, который будет переотражен от устройства защиты, расположенного в помещении.

Литература

1. **Ю. Т. Зырянов, О. А. Белоусов, П. А. Федюнин.** Основы радиотехнических систем. Издательство ФГБУ ВПО «ТТГУ», 2011.
2. **Н. В. Черникова, Р. Я. Панцыр.** Анализ акустопараметрических каналов утечки информации и обоснование требований к методам и средствам их выявления. Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов. В 3-х т. Т. 2.: тезисы докладов — М.: Издательский дом МЭИ, 2017. — 404 с.

Д. М. Дианов, студ.; рук. А. С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАССЛЕДОВАНИЕ ИНЦИДЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ DATA MINING

Инциденты информационной безопасности (ИБ) возникают даже в тех случаях, когда система информационной безопасности строится на полной защищенности от видимых угроз. Это вызывает необходимость проведения расследования инцидента с целью совершенствования системы ИБ.

Инциденты ИБ могут быть преднамеренными или случайными (например, являться следствием ошибки пользователя, прекращением работы информационной системы из-за технических неполадок или в случае возникновения обстоятельств непреодолимой силы). Алгоритмы расследования инцидентов для них так же различаются, например, выявление и расследование утечки конфиденциальной информации, совершенной опытным администратором, отличается от выявления нецелевого использования сети Интернет обычным пользователем [2].

В своей работе я хотел бы представить способ расследования инцидентов с помощью метода Data Mining, который называется «Деревья решений». Деревья решений — это способ представления правил в иерархической, последовательной структуре, где каждому объекту соответствует единственный узел, дающий решение.

Data mining (добыча знаний) — это процесс выявления скрытых фактов и взаимосвязей в больших массивах данных. Data mining разрешает распространенный парадокс: чем больше накапливается данных о клиентах, тем сложнее и дольше эффективно анализировать эти данные и получать значимые выводы [1].

Целью исследования является разработка алгоритмов расследования инцидента ИБ с использованием методов Data Mining.

Задачами исследования являются:

1. Провести анализ отчетности и базы знаний уязвимостей и угроз и классифицировать инциденты ИБ.
2. Разработать для каждого класса типовые ситуации возможных инцидентов.
3. Разработать информационную технологию по расследованию инцидентов и обнаружению следов злоумышленника.
4. Дать рекомендации по совершенствованию методики расследования инцидентов.

Литература

1. Интернет ресурс сайт: «<http://www.intuit.ru>».
2. Журнал «Information Security Информационная безопасность», 2009.

А. Ю. Егоров, студ.; рук. А. С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ КОМПЬЮТЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ИГРОВОЙ ФОРМЫ ФОРМАТА «CAPTURE THE FLAG»

В Российской Федерации подготовка специалистов в области компьютерной безопасности (КБ) высшими учебными заведениями, ведется в рамках государственных стандартов, в которых определены требуемые для освоения знаний дисциплины и сформулирован набор необходимых компетенций, которыми должен обладать специалист по окончании курса обучения [1]. Однако, с обнаружением новых угроз безопасности компьютерных систем (КС) и быстрым развитием информационных технологий, используя существующие подходы подготовки, становится все сложнее собирать и преподносить образовательный материал для формирования компетенций будущих специалистов по КБ. Еще более сложным становится, применение полученных знаний и навыков молодыми специалистами по КБ в реальных условиях. Поэтому, требуются новые подходы, позволяющие преподносить актуальный материал, с точки зрения КБ, и с реальными практическими примерами. Но главное, необходимо привить мотивацию к самостоятельному обучению и самосовершенствованию в области КБ. Примером такого подхода, может стать игровая форма обучения в формате capture the flag (CTF).

CTF (англ. «захват флага») — это вид соревнований по КБ. Главной целью CTF является захват «флага», некой конфиденциальной информации, хранящейся в уязвимой КС. Участие в CTF позволяет специалистам улучшить свои теоретические знания, и развить практические навыки в области анализа защищенности КС. Главной особенностью CTF, является соревновательная составляющая, которая мотивирует участников к изучению материала и новых подходов в КБ.

В итоговой работе будет представлена методика подготовки специалистов по КБ, основанная на игровой форме CTF. Данная методика будет затрагивать различные аспекты КБ, начиная от криптографии и заканчивая обратной разработкой программного обеспечения.

Литература

1. **Мансуров А. В.** CTF-ориентированная парадигма изучения практических вопросов информационной безопасности // Символ науки. № 8/2016.

С. С. Усачев студ., А. Р. Энтентеев студ.;
рук. А. А. Волошин к.т.н., Е. А. Волошин (МЭИ, Москва)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИРУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ (MATLAB, PSCAD, RSCAD, POWERFACTORY) ДЛЯ СИНТЕЗА ДАННЫХ ДЛЯ ЗАДАЧ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

На современных электроэнергетических объектах собирается значительный объем информации о режимах работы оборудования. Источниками данных выступают системы мониторинга основного оборудования (выключатели, трансформаторы, комплектные распределительные устройства элегазовые (КРУЭ), высоковольтные вводы и др.), системы автоматизации (АСУТП, ССПИ), устройства релейной защиты и автоматики (РЗА, ПА), регистраторы аварийных событий. Часть информации передается на верхние уровни управления через подсистемы сбора и передачи оперативной и неоперативной информации (ССПИ и ССПТИ соответственно). В последнее время началось внедрение систем синхронизированных векторных измерений (СВИ, РМУ).

Большие объемы собираемой информации как правило являются слабо структурированными, поскольку нет общепринятых информационных моделей (Common Information Model, CIM) и унифицированных подходов к наименованию оборудования, подсистем и отдельных сигналов. В связи с этим возможности по использованию накопленных данных для решения задач с использованием механизмов машинного обучения ограничены. Кроме того, текущие и архивные данные телеизмерений не предоставлены для свободного пользования.

Эффективность работы программных комплексов, основанных на технологиях нейронных сетей, растет с увеличением объема данных, на которых проводится обучение [1]. В связи с этим получение большого объема исходных данных о режимах работы отдельных единиц оборудования и электроэнергетических объектов в целом является необходимым условием для развития программных моделей прогнозирования состояния оборудования и возникновения аварийных ситуаций. В частности, полученная база данных может быть использована для создания обучающейся системы определения индекса технического состояния (ИТС) оборудования на основе приказа Министерства энергетики РФ от 26 июля 2017 г. № 676.

Для решения задачи сбора данных для машинного обучения в работе предлагается методика моделирования электроэнергетических объектов с помощью программных и программно-аппаратных комплексов. Рассмотрены возможности комплексов RSCAD, PSCAD, PowerFactory, Matlab для автоматизированной подготовки исходных данных для обучения моделей.

Литература

1. **В. В. Крылов, С. В. Крылов.** Большие данные и их приложения в Электроэнергетике.
2. **Witten I. H.** «Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques».

А. Н. Гаврилов студ.; А. Ю. Невский к.т.н. доцент (НИУ «МЭИ»)

ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ НА ОБЪЕКТАХ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ОРГАНОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВЛАСТИ

Преобразования, проводимые в сфере государственного управления, выдвигают на первый план проблемы информационной безопасности (ИБ). Активно внедряются информационные технологии (ИТ) в органах государственной власти (ОГВ) всех уровней. Требования к обеспечению ИБ не всегда соблюдаются в сфере управления, отмечается недостаток осведомленности руководителей, специалистов и участников информационного взаимодействия в вопросах организации процессов обеспечения ИБ.

Актуальность проблемы, рассмотренной в настоящей работе, обусловлена высоким требованием, предъявляемым к защите информации в ОГВ. Организованные атаки на объекты информатизации становятся обычным делом, максимизация безопасности государственных учреждений является приоритетной. Решение данной проблемы требует рассмотрения всех компонентов защиты информации.

Целью данного исследования является реализация комплексного подхода при разработке политики ИБ, оценка существующих систем ИБ и внедрение технологий по их совершенствованию; выявление актуальности руководящих и организационных документов и эффективности использования существующих средств защиты информации на практике.

Задачи исследования:

1. Раскрыть современные требования по ИБ, отметить особенности построения защиты информации в ОГВ.
2. Рассмотреть виды защиты информации, проблемы и угрозы по ИБ.
3. Апробировать применительно к существующей информационно-вычислительной системе организации требования, направленные на обеспечение ИБ, и оценить данные мероприятия.
4. Разработать практические рекомендации по совершенствованию используемых в ОГВ методов обеспечения ИБ.

Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 16 августа 2004 г. № 1085 «Вопросы Федеральной службы по техническому и экспортному контролю».
2. Указ Президента Российской Федерации от 05 декабря 2016 г. № 646 «Доктрина информационной безопасности Российской Федерации».

П. А. Гречихин, студент; А. С. Минзов, д.т.н.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Существуют разные концепции создания систем информационной безопасности (ИБ), но для бизнеса более интересны те из них, которые связаны с моделированием рисков. Это объясняется тем, что управление бизнесом обычно строится на моделировании рисков, что позволяет создавать обоснованные решения бизнес-задач¹. Национальный проект по реализации цифровой экономике также требует применения технологий моделирования рисков². Это и определяет актуальность исследования.

Основная цель исследования заключается в разработке и реализации модели управления рисками, позволяющей учитывать различные факторы, влияющие на риск, определять возможные зависимости между ними, выбирать различные стратегии управления и находить рациональные решения по созданию системы ИБ.

Отсюда возникают следующие задачи:

1. Провести анализ существующих моделей управления рисками и выделить из них те, что можно использовать в имитационной модели.
2. Разработать алгоритм управления рисками и реализовать этот его в виде клиент-серверного программного обеспечения.
3. Подготовить исходные данные, провести эксперимент и собрать статистику, в которой определить параметры оценки эффективности различных стратегий обработки рисков.

Решение этих задач позволит сотрудникам службы информационной безопасности обосновать снижение затрат на создание системы ИБ. Это повысит эффективность бизнеса в целом.

Реализация проекта предполагается выполнить в виде программного обеспечения, построенного на клиент-серверной архитектуре, в концепции объектно-ориентированного программирования с использованием также функционально-реактивных подходов, clean architecture Amber на стороне клиента и VIPER архитектуры на серверной части программного обеспечения. Серверная часть будет реализована с помощью фреймворка VAPOR, базой данных Firebase и запущена на облачной платформе Heroku.

¹ Минзов А.С., Бушеленкова С.В., Черемисина Е.Н., Токарева Н.А. Управление рисками в системах экономической безопасности.

² Петренко С.А., Симонов С.В. Управление информационными рисками.

Т. О. Губаев, студ.;
рук. Т. К. Филимонова, с.н.с., доц. (КГЭУ, Казань)

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА РЕФЛЕКСИИ В РАМКАХ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ C++

Рефлексивное программирование является одним из видов метапрограммирования. Как правило, для реализации данной парадигмы необходимо поддерживать динамическую идентификацию типов данных. Доступ к этим возможностям можно получить в языках программирования, тесно связанных с какой-либо средой исполнения (JVM, .NET).

Существуют споры относительно применимости понятия кроссплатформенности к языку программирования C++, однако он может использоваться как для программирования, нацеленного непосредственно на ЭВМ, так и для создания приложений для кроссплатформенных сред исполнения (например, C++/CLI).

В случае, когда ни о каких средах исполнения речи не идет, а необходимость наличия данной парадигмы все равно остается, встает вопрос о реализации рефлексивно-ориентированного программирования за счет использования каких-либо вспомогательных библиотек. Стоит отметить, что подавляющее большинство этих библиотек накладывает некоторый регламент на описание сущностей программы. То есть, при написании исходных текстов придется использовать новые языковые конструкции (реализуемые, как правило, при помощи макросов).

Одним из возможных решений этой проблемы является создание утилиты, анализирующей исходные тексты с помощью процессора регулярных выражений и создающую новые файлы, содержащие информацию обо всех сущностях программы, а также механизмы, поддерживающие взаимодействия с этими сущностями и их компонентами. Таким образом, мы позволяем программисту сохранить общепринятый способ написания программ на данном языке. Единственное, что ему будет необходимо знать, так это интерфейс, предоставляющий доступ к использованию механизма рефлексии. Разумеется, он должен быть хорошо документирован, интуитивно понятен и, самое главное, для его минимального использования программист должен потратить минимально возможное время на изучение самой библиотеки.

Несмотря на то, что многие могут посчитать рефлексию излишеством для такого языка программирования, он при всех его возможностях и близости к машинному уровню все же является объектно-ориентированным. Это обстоятельство позволяет создавать сложные и многокомпонентные системы обработки информации, и на определенном этапе развития одной из таких систем может возникнуть необходимость в поддержке рефлексии.

А. А. Гуреев, студ.; рук. А. Ю. Невский, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМАХ ПРОАКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ

В работе будет рассматриваться проблематика использования методов интеллектуального анализа данных, а именно использование нейронной сети (НС) для решения задач прогнозирования атак на компьютерную систему (КС).

Большинство средств защиты информации направлены на устранение и минимизацию ущерба от инцидентов информационной безопасности. Для выявления и предотвращения атак на КС чаще всего используют системы обнаружения (IDS) и предотвращения вторжений (IPS). Но данные системы защиты в основном обнаруживают и регистрируют атаки, которые уже происходят.

Как правило, устранение последствий атаки является гораздо более сложной задачей, чем своевременное применение предупреждающих мер. Поэтому актуальной задачей является создание системы проактивной защиты с использованием НС для прогнозирования и дальнейшего предотвращения атак на КС.

Проактивная защита подразумевает под собой применение защитных мер еще до того, как атака была реализована.

Под искусственными нейронными сетями понимают математическую модель, построенную по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей. Структурно НС представляет собой сеть элементов искусственных нейронов, связанных между собой синаптическими соединениями. НС обрабатывает входную информацию и в процессе изменения своего состояния во времени формирует совокупность выходных сигналов [1].

Для реализации системы проактивной защиты с использованием НС необходимо решить следующие основные задачи:

- Собрать информацию о типичном поведении КС и сформировать ее в виде профиля. Профилем в данном случае является типичное (нормальное) поведение КС;
- Определить аномальные изменения признаков, выявленных в профиле, являющиеся предпосылками к возникновению атаки на КС;
- Используя профиль и аномальные проявления признаков провести обучение НС.

Литература

1. **Марков Г. А.** Использование технологий нейронных сетей при решении задач информационной безопасности // Молодежный научно-технический вестник. 2014. № 3.

В. А. Хечумова, студентка; рук. М. Н. Власенко, к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

РИСКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: РОЛЬ И МЕСТО В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

Риск информационной безопасности (РИБ) связан с неопределенностью результатов хозяйственной деятельности, может рассматриваться не только как экономическая категория, но и как философская категория, универсальная форма неоднозначности мышления и бытия [2, с. 27]. В данной ситуации управление РИБ является одним из методов преодоления конфликта, суть которого проявляется в том, что организация, с одной стороны, стремится получить значительную прибыль, с другой стороны — снизить РИБ. Взаимосвязь прибыли и РИБ представлены на рис. 1.

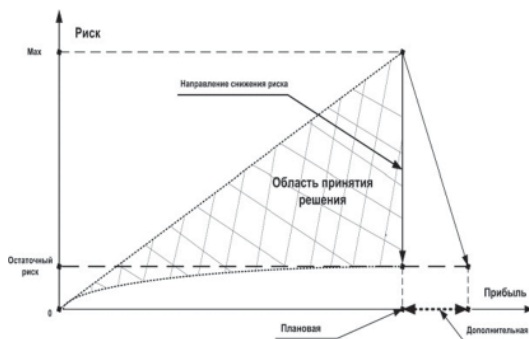


Рис. 1. Взаимосвязь прибыли и РИБ в системе управления экономической деятельностью

Система управления РИБ позволяет снизить размер риска до остаточного уровня, сохраняя плановую прибыль. Наличие защиты делает экономическую систему мало подверженной негативным изменениям под воздействием окружающей среды, а значит и более стабильной. Рис. 1. Взаимосвязь прибыли и РИБ в системе управления экономической деятельностью

Указанные обстоятельства порождают образование дополнительного фактора привлекательности для потребителей, что способствует получению дополнительной (не запланированной) прибыли

Таким образом, риски это не только негативные факторы для организации, но и стимул ее развития — обстоятельства, создающие дополнительные конкурентные преимущества и прибыль, что является положительным результатом [3, с. 90].

Литература

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005-2010. Национальный стандарт Российской Федерации. Информационная технология, Методы и средства обеспечения безопасности.
2. Диев В. С. Философская парадигма риска / В. С. Диев // Журнал ЭКО № 11 2008, с. 27–39.
3. Власенко М. Н. Совершенствование экономической безопасности организации в условиях рыночной экономики / М. Н. Власенко // Вестник Университета. — 2015. — № 11. — С. 90.

В. А. Каранкевич, студент; А. С. Минзов, д.т.н. проф. (НИУ «МЭИ»)

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОИСКОВЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСА «ПИРАНЬЯ»

В настоящее время, в связи с развитием информационных технологий возникает множество методов несанкционированного получения информации. Существует большое количество технических средств для защиты информации. Одним из таких технических средств является уникальный поисковый комплекс ST 031M «ПИРАНЬЯ». Это многофункциональный поисковый прибор, предназначенный для обнаружения и локализации технических средств негласного получения информации. Комплекс обладает такими преимуществами как мобильность и компактность. Однако проблемой данного комплекса является отсутствие научно-методического обеспечения для проведения поисковых работ.

Целью исследования является разработка научно-методического обеспечения по обучению технологиям проведения поисковых работ с комплексом «ПИРАНЬЯ» ST 031M, для обучения методике проведения поисковых работ в реальных условиях. Научно-методическое обеспечение включает в себя обоснование сценариев и механизмов проведения поисковых работ по обнаружению каналов утечки информации.

В задачи исследования входят:

1. Разработка научно-методического обеспечения для обучения обнаружения акустических и виброакустических каналов утечки информации;
2. Разработка научно-методического обеспечения по обучению обнаружения и локализации технических средств негласного получения информации, передающих информацию в инфракрасном диапазоне;
3. Разработка научно-методического обеспечения по обучению обнаружения и локализации специальных технических средств негласного получения информации, использующих для получения и передачи проводные линии различного назначения, а также технических средств обработки информации, создающих наводки информативных сигналов на проводные линии.

Решение этих задач позволит организовать подготовку специалистов по проведению поисковых работ с использованием поискового комплекса ST 031M «ПИРАНЬЯ».

Литература

1. **Смерш Техникс** ST 031M «ПИРАНЬЯ» техническое описание и инструкция по эксплуатации: 2017.

*М. П. Константинов, студент;
рук. И. В. Писаренко, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ СИБ В КОНЦЕПЦИИ СТАНДАРТОВ СТО БР ИББС

В настоящее время стандарты СТО БР ИББС являются основными документами, описывающими обеспечение систем информационной безопасности для финансовых организаций. Стандарты СТО БР ИББС состоят из «Общих положений» [1], «Аудита ИБ» [2], документов, описывающих методику оценки соответствия ИБ требованиям, описанных в СТО БР ИББС и действий при реагировании на инциденты ИБ при осуществлении переводов денежных средств. СТО БР ИББС регламентирует внедрение системы менеджмента информационной безопасности (СМИБ) и системы информационной безопасности (СИБ). Комплекс отраслевых стандартов повышает эффективность мероприятий по обеспечению и поддержанию информационной безопасности организаций банковской системы.

Актуальность данной темы заключается в том, что на сегодняшний день стандарты СТО БР ИББС носят рекомендательный характер и оставляют неопределенность в процессах управления СИБ, возлагая данные задачи на усмотрение администратора безопасности. В связи с чем в различных филиалах или организациях процессы управления могут различаться.

Цель работы — предоставить администраторам безопасности и людям, которые обеспечивают безопасность информации при осуществлении переводов денежных средств уменьшить неопределенность в процессах управления СИБ путем создания единых принципов и технологий процессов управления системы информационной безопасности.

Моделирование процессов управления системы информационной безопасности создается по методологии функционального моделирования IDEF0. Данная методология позволяет наглядно рассмотреть процессы управления и разобрать логические отношения.

Литература

1. **Стандарт Банка России:** «Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Общие положения» (СТО БР ИББС-1.0-2014)
2. **Стандарт Банка России:** «Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Аудит информационной безопасности СТО БР ИББС-1.1-2007» (СТО БР ИББС-1.1-2007)

А. С. Круглов, студ.; науч. рук. А. С. Минзов, проф (НИУ «МЭИ»)

ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ТЕСТИРОВАНИИ WEB ПРИЛОЖЕНИЙ

Стремительное развитие инфраструктуры и интернет технологий, а также связанное с этими процессами распространение WEB-приложений, приводит к появлению угроз, которые во многом связаны с ошибками проектирования и внедрения этих приложений. Отсюда возникает необходимость разработки механизмов мониторинга WEB-приложений по выполнению требований информационной безопасности (ИБ) процессов, выполняемых этим приложением, и непосредственно его кода (серверные скрипты и их отладочные элементы, комментарии и других компонентов). Существующие элементы контроля состояния информационной безопасности при тестированию не создают целостности системы контроля ИБ, так как нацелены на контроль функций и их соответствие ТЗ. Это и определяет актуальность исследования [1].

Основная цель исследования разработать прототип системы, позволяющей проводить тестирование исполняемого кода, согласно предварительно настроенным политикам безопасности, а так же, при необходимости, автоматически задавать новые политики ИБ для системы контроля версий продукта.

К основным задачам разрабатываемой системы можно отнести повышения вероятности выявления потенциально опасных элементов в коде и возможность выявить их на этапе приема задачи. Так же подобный программный продукт должен быть интегрируемым и работать исключительно вместе с тестируемым приложением, составляя краткий электронный отчет о проведенным исследованиям.

Результатом подобной разработки будет являться прототип системы, интегрируемый в продукт, в виде набора скриптов и библиотек кода, основная задача которого будет упрощение проведения первичного анализа кода.

Литература

1. **С. Макконнелл** Совершенный код. — 2005

*С. В. Лактионов (НИУ «МЭИ»), Г. М. Карманов
(ФУ при Правительстве РФ), студенты;
рук. А. С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ТЕХНОЛОГИИ СОЦИАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРИИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ АТАК НА ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И МЕТОДЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ИМ

В современном мире большое количество технологий, с помощью которых можно успешно проводить атаки на информационные системы, но основную опасность представляют целевые атаки. Такие атаки организуются по заранее разработанным сценариям с применением методов социальной инженерии. Эти методы нацелены на добычу вспомогательной информации, позволяющей получить доступ к защищенным информационным системам. Технологии социальной инженерии основаны на психологических слабостях человека, ведь даже самая совершенная система защиты бесполезна, если ей управляет психологически неустойчивый, наивный и/или доверчивый человек [1]. Изучение этих методов является крайне актуальной задачей, в особенности, из-за недостаточной проработки и отсутствия единых корректных методов противоборства.

Целью данного исследования является определение признаков проведения атаки на цель, разбиение атаки на фазы (сбор информации, установка доверительных отношений, получение информации, действие), а также формирование методических рекомендаций для противодействия атакам подобного рода [2]. В исследовании будет описана модель социального инженера, основанная на вычислении вероятности применения технологий социальной инженерии по анализу совокупности проявленных признаков, разработана классификация злоумышленников, использующих методы социальной инженерии и будут предложены рекомендации по противодействию технологиям социальной инженерии.

Результаты исследования позволят:

- Сформировать четкое понимание такого явления, как атаки методами социальной инженерии.
- Определить признаки начала проведения атак.
- Разработать превентивные меры противодействия таким атакам, основанные на анализе признаков с использованием методов искусственного интеллекта.

Литература

1. **Касперски К.** Секретное оружие социальной инженерии, 2003.
2. **Скабцов Н. В.** Аудит безопасности информационных систем: Изд-во «Питер». 2018.

*А. Ю. Модорский, студ.;
рук. А. С. Минзов, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ПОТОКОВОГО СИГНАТУРНОГО МЕТОДА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ УГРОЗ ИБ В СОВРЕМЕННЫХ СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Большинство современных СЗИ направлено на реактивное противодействие угрозам, действуют они в момент, когда соответствующая угроза была идентифицирована и обработана в корневом каталоге. К примеру, антивирусное ПО ведущих вендоров просто не может противодействовать вирусу, сигнатуры которого нет в его базе данных.

Здесь на первый план выходят системы, работающие проактивно — IDS/IPS и другие, использующие сигнатурный метод. Но насколько они эффективны в контексте применения в современных организациях? Ведь помимо обеспечения превентивной защиты информации коммерческие структуры руководствуются целым набором факторов. Это и экономическая эффективность, и простота внедрения, настройки, обслуживания и масштабирования, быстродействие и охват инфраструктуры организации. Здесь проактивные системы уступают встраиваемым решениям — те же IDS/IPS требуют построения отдельной серверно-клиентской инфраструктуры, что влечет ухудшение масштабируемости АС в целом, снижение скорости пропускания трафика (при неизменной пропускной способности канала) и общее падение производительности системы-симбиота. Зачастую они также требуют детального аудита любого изменения в СПД, и игнорирование этого факта ведет к экспоненциальной потере эффективности СЗИ. В этих компонентах пальму первенства держат встроенные в сеть передачи данных средства защиты. Они не требуют выделенной инфраструктуры, просты в сопровождении, масштабируются вместе с СПД, но реактивны и малоэффективны при реализации неизвестной угрозы. Развитие технологий защиты информации в сетях передачи данных видится в соединении двух фундаментальных принципов — создании встроенных систем, реализующих проактивную защиту в СПД.

Для реализации идеи подходят современные маршрутизаторы и МСЭ — они обрабатывают до 100% потока трафика, построены на BSD-системах, что дает простор в их адаптации к ЗИ и взаимодействию с внешними серверами при помощи стандартных интерфейсов. Низкоуровневое программирование маршрутизатора в сочетании с применением протокола типа NetFlow позволит добиться решения задачи интеграции потокового сигнатурного метода минимальными вложениями, оставаясь при этом компонентой надежной, масштабируемой и недорогой в сопровождении.

*В. В. Николаев, студент;
рук А. Ю. Невский, к.т.н., доцент. (НИУ МЭИ, Москва)*

МЕТОДИКА ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ «ОБЩИХ КРИТЕРИЕВ» ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТРЕБОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Для оценки безопасности современных информационных технологий, таких как «интернет вещей» необходим оценочный стандарт, которым может быть серия из трех частей «общих критериев». Данный стандарт является универсальным инструментом для оценки безопасности информационных технологий и порядка их использования. Опираясь на стандарт можно строить классы безопасности для конкретной информационно технологии.

Стандарт содержит два вида требований безопасности:

- Соответствующие активному аспекту защиты (функциональные)
- Соответствующие пассивному аспекту защиты (требования доверия)

В связи с тем, что информационные технологии развиваются и входят в нашу повседневную жизнь с большой скоростью, возникает потребность в определении требований доверия к таким технологиям, что делает данную тему актуальной.

С помощью «общих критериев» будет разработан профиль защиты и задание по безопасности на выбранную технологию «интернета вещей».

Первым этапом работы будет анализ применимости «общих критериев» к выполнению задачи исследования.

Вторым этапом работы будет разработка методики практического применения стандарта.

Заключительным третьим этапом работы будет разработка примера задания по безопасности конкретной технологии «интернета вещей» на основе разработанной методики практического применения «общих критериев».

Результатом исследования будет методика применения «общих критериев» с помощью которой можно будет легко проводить оценку доверия к информационным технологиям.

Литература

1. Серия стандартов ИСО МЭК 15408 «Информационные технологии (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий». Часть 1-2012, Часть 2-2013, Часть 3-2013.

*П. А. Осипов, аспирант; Минзов А. С. профессор, д.т.н.
(Государственный Университет «Дубна», Дубна)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОАКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Стремительное развитие информационных технологий приводит к увеличению событий, связанных с нарушением информационной безопасности системы. Во II квартале 2017 г. была эпидемия вируса-шифровальщика WannaCry, которая продлилась всего несколько дней и была остановлена. Однако, этого было достаточно, чтоб общий ущерб составил 1 млрд долларов США. С увеличением популярности устройств на платформе Android растет и количество вредоносного софта для этой платформы, например, банковских троянов.

Данные события приводят к необходимости разработки новых средств и методов защиты, которые бы позволяли предотвращать любые неизвестные ранее атаки на основе анализа событий, предшествующих этим атакам. Такие методы защиты относятся к проактивным. Их особенность заключается в том, что они прогнозируют развитие атак и на основе этого принимают определенные защитные действия.

Такие подходы к организации защиты информации уже используются. Например, компания Dr.Web представила антивирус проактивной защиты «Katana», который выпускается не только как отдельный продукт, но и входит в состав всех антивирусных решений компании. Основываясь на собственном опыте, можно отметить, что этот антивирус обнаружил и заблокировал выполнения WannaCry. Но на текущий момент использование не сигнатурных методов защиты не гарантирует защищенность системы, поэтому для полноценной защиты используются также сигнатурные методы обнаружения атак.

Проблема применения проактивных методов защиты заключается в отсутствии теории и механизмов защиты информации на основе этих методов. Это определило и цель настоящего исследования — систематизация механизмов проактивной защиты корпоративных информационных систем и формирование требований к ним. Достижение этой цели является необходимым условием для совершенствования механизмов проактивных систем защиты информации корпоративных информационных систем.

Литература

1. Статистика. Лаборатория Касперского. URL: <https://securelist.ru/statistics/>. Дата обращения: 03.12.2017.
2. Dr.Web Katana. URL: https://st.drweb.com/static/new-www/files/Katana_ru.pdf. Дата обращения: 03.12.2017.

*В. А. Прибылев, студент;
рук. О. Р. Баронов, доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

РАЗРАБОТКА ПРОФИЛЯ ЗАЩИТЫ И ЗАДАНИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ НА АРМ ДОЛЖНОСТНОГО ЛИЦА ОРГАНИЗАЦИИ

В настоящее время персональные данные граждан обрабатываются во многих государственных и коммерческих организациях, и эти организации обязаны обеспечить защиту всех полученных ими персональных данных. Защита и правила работы с персональными данными описаны в одном федеральном законе, а так же в документах ФСТЭК, трудовом и административном кодексах. Приказ ФСТЭК от 18.02.2013 № 21 определяет уровни защищенности персональных данных, выбор которых зависит от того, какие именно данные будут обрабатываться, от типа организации.

Разработка профиля защиты и задания по безопасности для автоматизированных рабочих мест на которых происходит обработка персональных данных, руководствуясь ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408, позволит создать систему защиты персональных данных, определить компоненты безопасности и оценочный уровень доверия для этой системы. Все это позволит повысить надежность системы защиты и установить определенный уровень доверия к ней.

Для достижения этой цели необходимо изучить нормативные документы по разработке профиля защиты и задания по безопасности, определить какие именно персональные данные будут обрабатываться, и выбрать подходящие требования по обеспечению их защиты.

Профиль защиты и задание по безопасности средств защиты персональных данных для автоматизированного рабочего места позволит задать четкие требования, которым должны отвечать все применяемые на объекте информатизации средства защиты, что в свою очередь позволит организовать защищенный режим обработки персональных данных на автоматизированном рабочем месте, повысить уровень доверия к системе защиты информации, а также упростит ее разработку и построение.

Литература

1. Приказ ФСТЭК от 18 февраля 2013 г. N 21.
2. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-2-2013** Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 2. Функциональные компоненты безопасности.
3. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3-2013** Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 3. Компоненты доверия к безопасности.

А. В. Романов, студ.; рук. А. С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОВЕРЕННОЙ СРЕДЫ В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В связи с повсеместным развитием компьютеризации и беспроводной связи киберфизические системы все глубже проникают во все сферы жизнедеятельности общества в виде систем управления производством или процессами SCADA, Интернета вещей IoT и беспилотных аппаратов. В общем виде эти системы представляют собой совокупность взаимосвязанных аппаратных, программных и программно-аппаратных объектов, содержащих в себе необходимые компоненты, такие как сканирующие сенсоры, логические контроллеры и исполнительные механизмы.

Киберфизические системы подвержены различным угрозам информационной безопасности. Они могут, как являться непосредственно целью для атак злоумышленника, так и представлять опасность для окружающих систем и людей.

Отсутствие реализации эффективных механизмов защиты, а также единых стандартов информационной безопасности в этой области является важной проблемой обеспечения доверенной среды на протяжении всего жизненного цикла существования таких систем.

Одним из методов обеспечения доверия между объектами киберфизических систем является применение криптографии. Однако все современные криптографические алгоритмы рассчитаны на применение в высокопроизводительных ЭВМ. Этот факт делает невозможным применение большинства существующих алгоритмов в устройствах с ограниченной вычислительной мощностью и малым объемом памяти, поэтому разработка алгоритма облегченной криптографии для применения в элементах, не способных обеспечить большинство существующих шифров достаточными ресурсами, является наиболее перспективным решением данной проблемы.

Разрабатываемый алгоритм для возможности эффективного применения в киберфизических системах должен быть простым, легко реализуемым, как программно, так и аппаратно, высокопроизводительным и при этом обладать необходимой криптостойкостью, достаточной для защиты всего нескольких бит информации при минимальных затратах ресурсов и энергопотребления без использования классической схемы создания и обмена ключами.

Литература

1. **Жуков А. Е.** Низкоресурсная криптография: актуальность, востребованность, основные требования и подходы // Защита информации. INSIDE. — 2015, № 4, с. 20–31; № 5, с. 71–81.

И. Э. Широков, студент; С. С. Рыжиков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЩЕСТВЕННЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ WI-FI

В настоящее время наблюдается тенденция возрастания использования беспроводных сетей. Беспроводные сети имеют уязвимости, которые возрастают при использовании их в качестве общественной точки доступа. В связи с этим, появилось большое количество открытого ПО, которое создало условия для реализации различного рода атак. Отсюда возникает необходимость их защиты [1].

Основная цель исследования заключается в разработке рекомендаций и механизмов совершенствования системы ИБ объектов/субъектов общественных беспроводных сетей. Так же необходимо проанализировать систему, с точки зрения злоумышленника, обнаружить возможные каналы для проникновения, исследовать варианты возможных топологий и протоколов. Сравнить основные средства и варианты обеспечения защиты, на основе данных полученных при тестировании систем, как от лица сотрудника защиты ИБ, так и со стороны злоумышленника [2].

На основе этого можно выделить задачи:

1. Провести анализ существующих протоколов и топологий беспроводной сети Wi-Fi с точки зрения их уязвимости.
2. Разработать стенд для проведения исследования атак на беспроводные сети. Разработать сценарий атак. Провести атаки по разработанным сценариям.
3. Разработать алгоритм мониторинга состояния беспроводной общественной сети с целью выявления действий возможного злоумышленника.

Решение этих задач позволит сотрудникам СИБ, разработать политику, с учетом всех возможных вариантов топологий и сценариев реализации атак, увеличив эффективность системы обеспечения защиты беспроводной общественной сети Wi-Fi.

Литература

1. **Рубриченко А. К.** Аспекты безопасности использования общественной Wi-Fi сети // Молодой ученый — 2016 № 6.
2. Wi-life, практическое применение Wi-Fi // Стратегия построения и обеспечения безопасности сети стандарта Wi-Fi.

А. П. Сухов, студент; рук. Н. О. Стрелков, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ АУТЕНТИФИКАЦИИ В ЗАЩИЩЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМАХ

Сегодня используется большое количество различных моделей аутентификации пользователей в самых различных системах. На сегодняшний день большой популярностью и наиболее распространенным методом для доступа к информационным ресурсам (далее — ИР) организации является 2-х факторная авторизация, состоящая из стандартной «клавиатурной» части, и в подтверждение используется биометрия, смарт-карты, touch memoгу, различные токены (Rutoken, eToken и др.), одноразовые СМС-пароли и др. Вдобавок для автоматизации процессов целесообразно использовать сквозную доменную аутентификацию к ИР организации.

Использование сложных методов аутентификации заключается в следующем:

В разработке внутренних нормативных документов организации, которые должны устанавливать вид пароля, длину пароля и дополнительные требования защиты пароля от его компрометации;

Внедрение дополнительного аппаратного/программного решения на АРМ пользователей.

В случае дискредитации идентификатора пользователя можно получить доступ с его правами к конфиденциальной информации. А в случае использования сквозной доменной аутентификация, возможно получить доступ, который предоставлен пользователю, ко всей информации, поэтому данная проблема является актуальной.

На сегодняшний день отсутствуют методы контроля использования усиленного пароля, так как стандартные журналы Active Directory [1], не собирают информацию от стороннего прикладного ПО, которое используется для усиления пароля.

В работе будут рассмотрены методы контроля соблюдения парольной политики пользователями, используя «скрипты» и другие способы сбора информации из реестра и системных журналов АРМ. С целью централизованного сбора, обработки, выявления отклонений от требований нормативных документов организации и идентификации нарушителя, применение дисциплинарных мер. Данный анализ повысит защищенность организации и позволит минимизировать риск утечки информации.

Литература

1. **Таненбаум Э., Бос Х.** Современные операционные системы. 4-е изд. — СПб.: Питер, 2015. — 1120 с.: ил. — (Серия «Классика computer science»).

Р. А. Сюбаев, студ.; рук. А. С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТРАТ НА ВНЕДРЕНИЕ И СЕРТИФИКАЦИЮ СМИБ ПО ГОСТ Р ИСО/МЭК СЕРИИ 27000

При внедрении системы менеджмента информационной безопасности (СМИБ) согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК серии 27000 организации сталкиваются с тем, что данные ГОСТы описывают процесс внедрения СМИБ весьма абстрактно, не учитывая специфику организаций, в которых она будет внедрена. Без какой-либо унифицированной модели процесса внедрения и затрат на СМИБ организация вынуждена тратить дополнительные ресурсы (временные, кадровые, финансовые и др.) либо на моделирование процесса внедрения СМИБ и дальнейшую сертификацию, учитывая свою специфику, либо на неэффективное использование ресурсов при отсутствии модели.

Разработка унифицированной модели состоит из основных этапов:

1. Детальная проработка документации, необходимой в СМИБ, используя ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001, определяющего процессы разработки, внедрения, мониторинга, анализа, поддержки и улучшения СМИБ [1].
2. Определение затрат на разработку каждого документа.
3. Разработка общей модели внедрения СМИБ на основе ГОСТ Р ИСО/МЭК 27003-2012, объясняющего внедрение СМИБ с описанием запуска, планирования и определения проекта [2]. А также модели сертификации на основе ГОСТ Р ИСО/МЭК 27006-2008 [3].
4. Определение наиболее эффективного алгоритма внедрения СМИБ с учетом специфики компаний (сфера деятельности, кол-во сотрудников, географическое распределение, уровень зрелости в сфере ИБ и др.)
5. Представление модели в виде готового программного решения, позволяющего при вводе информации о компании, получать вероятностный результат о затратах на внедрение СМИБ и дальнейшую сертификацию.

Модель позволит получить подробный алгоритм внедрения СМИБ, а также затраты на ее реализацию с учетом специфики компании.

Литература

1. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006** «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасностью».
2. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 27003-2012** «Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Руководство по реализации системы менеджмента информационной безопасности».
3. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 27006-2008** «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности требования к органам, осуществляющим аудит и сертификацию систем менеджмента информационной безопасности».

В. В. Устинов студ., О. Р. Баронов, доцент к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

СКАНЕРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: КОНЦЕПЦИИ, ФУНКЦИИ И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Сегодня сканеры информационной безопасности не обеспечивают реализацию концепции безопасности хозяйствующего. Необходимо определить какие функции в настоящий момент можно добавить к данному инструменту, исходя из их возможностей.

При выборе сканера безопасности необходим перечень его возможностей. Основное, что нужно в работе сканера, — широкий охват с проверки устройств и узлов, точность настроек, простота в использовании, возможность автоматической работы, которая не будет отвлекать специалистов от повседневных задач. [1]

Целью данной работы будет, является выявление недостающих функций сканеров безопасности и исследование возможностей их использования в различных режимах сканирования и формирование предложения по усовершенствованию функционала сканера информационной безопасности.

Задачами данной работы является сбор данных об используемых сканерах и задачах, для которых они используются, а так же проверка систем на соответствие различным требованиям.

В данной работе будет рассмотрение основных характеристик, преимуществ и недостатков, возможностей сканеров информационной безопасности.

Для выбора подходящего сканера безопасности информационной системы хозяйствующего субъекта необходимо определить требования и провести анализ нормативно методической документации регламентирующей основные мероприятия аудита безопасности информационной системы хозяйствующего субъекта. А так же провести анализ функциональных возможностей средств информационно-аналитического обеспечения для проведения аудита.

Необходимо произвести исследование соответствия функциональных возможностей сканеров безопасности и особенностей их применения.

Литература

1. **Дмитрий Никсов, Петр Рудель.** Сравнение сетевых сканеров безопасности. Системный администратор. Выпуск № 1, 2013

*Н. А. Уварова, студент; рук. А. А. Тютюнник, к.э.н., доц.
(Филиал НИУ «МЭИ» в г. Смоленск)*

ЗНАЧЕНИЕ ИТ-АУТСОРСИНГА В ЭКОНОМИКЕ

В век глобализации и информационных технологий среди экономически высокоразвитых стран достаточно широко распространена практика ИТ-аутсорсинга. Это связано с быстрым развитием ИТ-инфраструктуры, стремлением многих малых и крупных организаций снизить затраты, а также с конкуренцией на рынке.

На сегодняшний день количество успешных организаций по ИТ-аутсорсингу в России несколько ниже, нежели в странах Запада. На темпы развития оказывает существенное влияние такой внешний фактор, как законодательное регулирование. Само по себе понятие ИТ-аутсорсинга весьма широко распространено, однако в российском законодательстве оно отсутствует, также не разработаны отраслевые стандарты, нет нормативно-правовой базы, четко не определены права и обязанности сторон [1].

Сейчас правовой основой аутсорсинга служат соглашения. Они определяют все условия сотрудничества организаций и стандартно включают в себя: перечень работ, их стоимость и порядок расчета; ответственность сторон, обеспечение конфиденциальности; действия в случае споров; список оборудования организации-заказчика с указанием их количества (рабочие станции, сетевое оборудование) и т. д. Так, договоры по ИТ-аутсорсингу должны быть максимально точными и гибкими и содержать различные уточнения, связанные, например, с изменениями отношений между организациями (приостановление или прекращение действия соглашения и пр.). Как показывает практика, нежелание обращаться к услугам сторонней организации у руководителей возникает именно из-за сложностей и неоднозначности заключения такого рода договоров, поскольку существуют определенные риски, которые впоследствии могут нанести немалый вред развитию и положению предприятия в своем сегменте рынка.

В итоге, для более быстрого развития ИТ-аутсорсинга в РФ требуется наличие нормативно-правовой базы и стандартов в данной сфере, так как это позволит четко регламентировать такие услуги и распространить их. Также следует создать систему страхования рисков, которая для организаций будет являться важным фактором при принятии решения прибегнуть к ИТ-аутсорсингу. Такие мероприятия необходимы, поскольку развитие в области ИТ-услуг играет большую роль не только в экономике страны, но и мира.

Литература

1. **Организация ИТ-аутсорсинга В. И. Грекул, Н. Л. Коровкина** — М.: Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016. — 200 с.

А. Н. Воронкова, студентка;
рук. М. Н. Власенко, к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

ФИЛОСОФСКО-УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЯВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РИСКОВ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ



Рис. 1. Модель взаимосвязи и взаимодействия угроз и рисков

порождаемых внутренней и внешней средой организации. Данные угрозы воздействуют на объекты защиты $M_o = \{O_1, O_2, O_3, \dots, O_n\}$.

При определенных обстоятельствах, указанные угрозы порождают информационные риски $M_r = \{R_1, R_2, R_3, \dots, R_n\}$ [1].

Часто, при наличии угроз, наличии объекта находящегося под негативным воздействием, нет смысла говорить об информационном риске, если объект *не представляет ценности* в отношении текущей и будущей экономической деятельности.

Таким образом, можно сформулировать главные условия появления информационного риска под воздействием угрозы в процессе функционирования организации:

1. Наличие (выявленной) угрозы объекту защиты.
2. Угрозы осознаны (идентифицированы ее параметры и специфика проявления).
3. Объект для лица, принимающего решение, представляет ценность (имеет значимость для управления).
4. Проведена оценка ущерба (величины информационного риска) в случае неприятия мер [1].

Литература

1. Власенко М. Н. Методология обеспечения экономически эффективного и безопасного функционирования хозяйствующих субъектов в условиях регионального рынка: системный подход. Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2012. № 5. С. 40–47.

*А. С. Воронкова, студент;
рук. Ю. Н. Шедько, д.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГР ДЛЯ ТИМБИЛДИНГА

TeamBuilding (командообразование) — важная часть корпоративной культуры организации, ведь от его результатов зависит настроение всего коллектива. Важно идти в ногу со временем и всегда генерировать новые подходы, ведь это позволяет увеличивать привлекательность компании, что обеспечивает предпринимательский успех [3]. Тимбилдинг имеет большое значение для компании, он представляет собой современный инструмент для формирования дружного и сплоченного коллектива. Если коллектив дружный, то повышается эффективность работы сотрудников, значительно уменьшается текучесть кадров [2].

На сегодняшний момент огромное количество людей играют в компьютерные игры, причем самые разные, это могут быть шутеры или RPG, могут быть просто головоломки. Известно, что они позволяют развить творческое и логическое мышление, способствуют улучшению памяти и внимания, учат принимать быстрое решение в нестандартных и стрессовых ситуациях, что, несомненно, повышает уровень экономической безопасности организации [1].

По нашему мнению, целесообразно использовать компьютерные игры в качестве средства современного тимбилдинга. Игра — отличная возможность для руководителя не только сплотить коллектив, но и изучить навыки сотрудников, их поведение в стрессовой ситуации, определить, у кого из сотрудников есть значительные лидерские качества, проанализировать принимаемые игроками решения и понять их способности. Также можно узнать, кто из сотрудников не склонен к командной работе и соответственно, скорректировать его позицию. В подобных играх есть значительные возможности для анализа и совершенствования навыков, улучшения сплоченности, качества взаимодействия между сотрудниками, что в свою очередь повышает производительность труда.

Литература

1. **Власенко М. Н.** Организационно-методические особенности оценки эффективности систем обеспечения экономической безопасности организации / М. Н. Власенко // Вестник университета. — 2016. — № 3. — С. 65–69.
2. **Шедько Ю. Н.** Комплексный подход к стратегии устойчивого развития предприятия // Научные записки ОрелГИЭТ. — 2016. — № 6 (18). — Ноябрь 2016 г. — С. 56–58.
3. **Шедько Ю. Н.** Основы предпринимательства / Ю. Н. Шедько // М.: Эгвес, 2005. — 92 с.

А. С. Воронкова, студентка;
рук. М. Н. Власенко, к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

УГРОЗЫ И РИСКИ В СИСТЕМЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

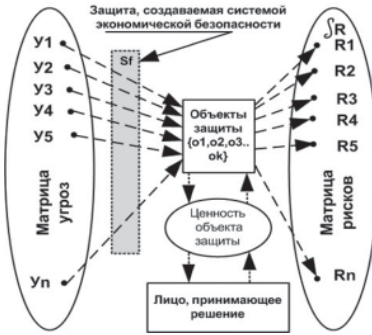


Рис. 1. Модель взаимосвязи и взаимодействия угроз и рисков

щего субъекта (Рис. 1).

На данном рисунке представлены Матрица угроз $M_u = \{U_1, U_2, U_3, \dots, U_n\}$, порождаемых внутренней и внешней средой организации. Данные угрозы воздействуют на совокупность (Матрицу) объектов защиты $M_o = \{O_1, O_2, O_3, \dots, O_n\}$, участвующих в экономической деятельности. При некоторых условиях (рассмотренных ниже), указанные угрозы порождают Матрицу рисков $M_r = \{R_1, R_2, R_3, \dots, R_n\}$ [1].

Часто, при одновременном наличии и угроз и объекта, находящегося под их негативным воздействием, теряется какой-либо смысл говорить о риске, если объект *не представляет ценности* для текущей, или будущей экономической (управленческой) деятельности.

Таким образом, можно представить совокупность обязательных условий зарождения рисков под воздействием угроз на организацию:

1. Наличие (выявленной) угрозы объекту защиты.
2. Угрозы осознаны (идентифицированы, измерены их параметры, раскрыта специфика проявления).
3. Объект защиты для лица принимающего решение, в настоящем и будущем времени, представляет ценность (является значимым для управления).
4. Проведена оценка ущерба (величины риска) в случае непринятия (недостаточности) мер экономической безопасности [1].

Литература

1. Власенко М. Н. Методология обеспечения экономически эффективного и безопасного функционирования хозяйствующих субъектов в условиях регионального рынка: системный подход. Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2012. № 5. С. 40–47.

Направление

**ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА
ПРЕДПРИЯТИЙ**

Научный руководитель направления —
директор ИПЭЭф, к.т.н., доцент С.В. Захаров

Секция 32

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

*Председатель секции — зав. каф. ЭПП, к.т.н., профессор С.А. Цырук
Секретарь секции — аспирант Е.А. Ландырева*

Е. А. Булычева; рук. С. А. Янченко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ

Качество электроэнергии (КЭ) — важное свойство электроэнергии как товара. В точке общего присоединения (ТОП) могут быть подключены нагрузки с разным уровнем влияния на искажение напряжения. Необходимо корректно определять источники высших гармоник (ВГ) и степень участия виновных потребителей для нормализации КЭ и оценки ущерба. Ниже представлены методы определения вклада потребителей в несинусоидальность напряжения, описанные в нормативных документах.

Для выявления источников несинусоидальности напряжения в [1] определяют фактический вклад (ФВ) от искажающих объектов и сравнивают его с допустимым значением. Метод основан на одновременном измерении токов ВГ на всех присоединениях в ТОП. При невозможности одновременного измерения предварительно выявляют искажающие объекты методом оценки по мощности потребителя. Для расчета ФВ определяют эквивалентный источник искажений и эквивалентный пассивный элемент. Расположение источников тока ВГ определяют по знаку активной мощности искажения.

В [2] оценка влияния потребителя осуществляется в рамках трех этапов. На первом этапе определяют источник искажения по одному из двух критериев: по мощности потребителя или по взвешенной мощности искажения. Во втором этапе сравнивают уровень ВГ напряжения, вызываемых работой потребителя, с его предельным значением, определяемым как доля от общего допустимого вклада всех потребителей в несинусоидальность напряжения. В рамках третьего этапа принимают более высокие допустимые уровни искажения на определенных условиях.

Методы [1,2] дают недостоверные результаты при изменении параметров внешней сети, смешанном составе нагрузок потребителя, резонансных условиях сети, нескольких искажающих потребителях с разными аргументами токов искажения. Это ограничивает их применение и требует разработки адекватной методики выявления вклада искажающих потребителей на уровень несинусоидальности напряжения в ТОП.

Литература

1. РД 153-34.0-15.501-00, РД 153-34.0-15.502-2002. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электро-снабжения общего назначения в 2 ч. — М.: Энергосервис, 2003. — Ч. 1–2.
2. IEC/TR 61000-3-6 ed2.0. Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 3–6: Limits — Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems.

Л. В. Мантрова, студ.;
рук. Н. В. Саженова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПУСК И САМОЗАПУСК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ 10 КВ

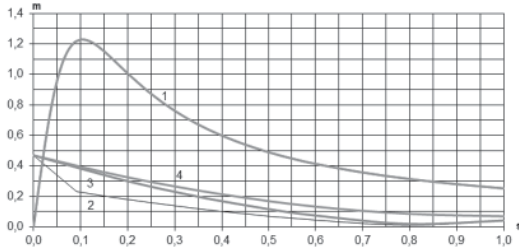


Рис. 1. Зависимость моментов сопротивления и вращения от скольжения: 1 — вращающий момент двигателя; 2 — момент сопротивления насоса (пуск на закрытую напорную задвижку); 3 — момент сопротивления насоса (пуск на открытую напорную задвижку); 4 — момент сопротивления вентиляторного механизма

Расчеты самозапуска двигателей наиболее актуальны в проектной деятельности, так как требования к самозапуску оказывают существенное влияние на выбор варианта схемы электроснабжения.

В работе расчеты произведены для двух случаев: $n=0$ — пуск без предварительно подключенных двигателей и $n=3$. Производится построение кривых зависимости моментов сопротивления и вращения от скольжения, которые приведены на рис. 1.

Определяется величина остаточного напряжения на зажимах двигателя. По полученному значению остаточного напряжения определяется вращающий момент двигателя и сравнивается со значениями моментов сопротивления приводимых механизмов. Проверяется условие вхождения двигателей в синхронизм. Различие расчета повторного пуска состоит в том, что к моменту восстановления напряжения происходит полный останов двигателей. Результаты расчета самозапуска приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты расчета самозапуска двигателя

n	$U_{ост},$ о.е.	$M_{вр},$ о.е.		$M_c,$ о.е.			$U_{ост0,05},$ о.е.	$M_{вр0,05},$ о.е.	$M_c,$ о.е.		
		U_H	$U_{ост}$	2	3	4			2	3	4
0	0,968	0,890	0,834	0,22	0,31	0,35	0,979	0,980	0,35	0,43	0,47
3	0,937		0,781				0,947				

В ходе проведения расчетов было определено, что самозапуск и повторный пуск двигателей обеспечивается в рассмотренных режимах.

Литература

1. Райхман Э. Н. Самозапуск синхронных и асинхронных двигателей. — М.: Изд-во Тяжпромэлектропроект, 1972.

Секция 33 ЭНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ

Председатель секции — первый проректор, к.т.н., профессор
Т.А. Степанова

Секретарь секции — магистр Е.Ю. Александрова

А. А. Альбицкий, студ. ;
рук. Б. А. Соколов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ВАРИАНТА ГАЗОТУРБИННОЙ НАДСТРОЙКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛОВ ТП-170 КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭЦ-16 ПАО «МОСЭНЕРГО»

В качестве метода для повышения эффективности работы ТЭЦ-16 ПАО Мосэнерго в данной работе предложен вариант надстройки энергетических котлов ТП-170 (5 котлов) первой очереди газовыми турбинами (ГТ).

Особенности компоновки котельного цеха первой очереди, спроектированного для сжигания угля и имеющего свободные площади на месте демонтированных системы пылеприготовления и электрофильтров (после перевода котлов на сжигание природного газа), позволяет реализовать газотурбинную надстройку по наиболее эффективной, сбросной технологической схеме с использованием для этой цели комбинированного котла на базе модернизации установленных паровых котлов ТП-170.

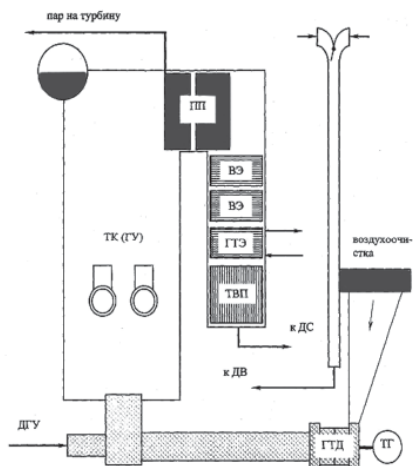


Рис. 1. Принципиальная схема газотурбинной надстройки по схеме сбросной технологии модернизированного котла ТП-170: ГТД — газотурбинный двигатель; ТГ — турбогенератор; ДГУ — дополнительное горелочное устройство; ТК (ГУ) — топка с горелочными устройствами; ПП — пароперегреватель; ВЭ — водяной экономайзер; ГТЭ — газовый теплофикационный экономайзер; ТВП — трубчатый воздухоподогреватель; ДС — дымосос; ДВ — дутьевой вентилятор

Е. Ю. Александрова, студ.;
рук. И. М. Бернадинер, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА RDF И АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОКРЫШЕК В ЦЕМЕНТНОЙ ПЕЧИ

Проблема загрязнения окружающей среды разнообразными веществами в настоящее время приобретает глобальный характер. На сегодняшний день одной из основных задач, актуальных во всем мире, является переработка и утилизация коммунальных отходов.

В работе рассмотрена проблема утилизации отходов и способ решения этой проблемы путем использования топлива RDF и отработавших автомобильных покрышек в качестве замены части топлива в цементных печах [1, 2].

В работе были произведены расчеты материальных балансов горения топлива

и отходов и совместного теплового баланса сжигания альтернативного топлива RDF, покрышек и природного газа.

По оценкам специалистов, без ущерба для качества клинкера на RDF может быть заменено 35–40% традиционного топлива, что и было принято в расчете теплового баланса.

На рис. 1 представлена структурная схема использования RDF и отработавших покрышек в цементной печи.

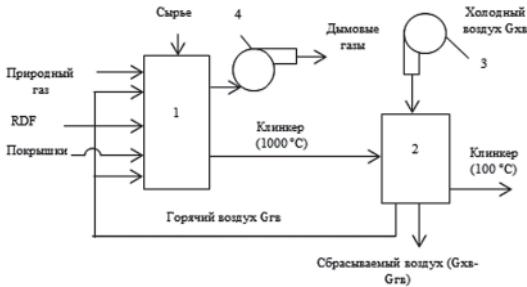


Рис. 1. Структурная схема использования RDF и отработавших покрышек в цементной печи: 1 — вращающаяся цементная печь; 2 — клинкерный холодильник; 3 — вентилятор; 4 — дымосос

Литература

1. Лисиенко В. Г., Щелоков Я. М., Ладыгичев М. Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология. Справочное издание в 2-х книгах. Кн. 1, 2 / под ред. В. Г. Лисиенко. М.: Теплотехник, 2004.
2. Холин И. И. Справочник по производству цемента. М., 1963.

*В. О. Беляева, Е. С. Ковшикова, студ.;
рук. С. К. Попов, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СПОСОБЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

В настоящее время для выплавки стали используют кислородные конвертеры, электродуговые печи и мартеновские печи. В данной работе рассматриваются способы повышения производительности и уменьшения энергопотребления электродуговой сталеплавильной печи [1, 2]:

1. Сокращение длительности плавки путем повышения удельной мощности трансформатора.
2. Организация испарительного охлаждения боковых стенок и крышки печи. Данный метод позволяет экономить огнеупорный материал и утилизировать отводимую теплоту. Дополнительное потребление энергии около 10–20 кВтч/т.
3. Применение топливо-кислородных горелок. Данное техническое решение приводит к уменьшению суммарных энергозатрат.
4. Компьютерное управление и автоматизация технологического процесса, открывающие возможность оптимизации потребления энергии в печи и повышения ее производительности.
5. Использование ковш-печи для выполнения некоторых этапов производства (легирования, десульфатизации и т.д.), обеспечивающее снижение удельных энергозатрат на 10–30 кВтч/т. Возможный недостаток — повышение выброса загрязняющих веществ в окружающую среду.
6. Предварительный подогрев шихты и использование вторичных энергоресурсов. В частности, подогрев лома отходящими газами позволяет экономить до 40% электроэнергии.

Выполнен сопоставительный анализ выбранных энергосберегающих мероприятий в применении к теплотехнологической системе производства стального проката.

Описанные способы энергосбережения применимы как к вновь создаваемым, так и к уже существующим печам. Они позволяют повысить энергетическую и экономическую эффективность электродуговой печи.

Литература

1. **Скляр В. О.** Инновационные и ресурсосберегающие технологии в металлургии: Учебное пособие. — Донецк: ДонНТУ, 2014. — 224 с.
2. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production, 2015

*А. Д. Дорошин, студент;
рук. И. М. Бернадинер, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРОЦЕСС ГАЗИФИКАЦИИ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ДРАГОЦЕННЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

В работе рассмотрен процесс газификации печатных плат для извлечения из них драгоценных и цветных металлов. Ежегодно в мире выбрасываются от 35 до 50 млн тонн электронных отходов. Без должной утилизации электронные отходы отрицательно воздействуют на экологию. Содержание разнообразных высокотоксичных материалов и тяжелых металлов делает захоронение на полигонах (свалках) или простое сжигание неприемлемым способом утилизации данных отходов. К электронным отходам относятся печатные платы от компьютеров, телефонов, телевизоров и другой бытовой и промышленной техники. Печатные платы составляют примерно 5% от общего количества электронных отходов.

Одним из способов переработки электронных отходов является газификация, при которой происходит частичное окисление исходного материала в продуктах сгорания органического топлива. При разложении органических веществ образуется синтез-газ (парогазовая смесь) и шлак, содержащий в себе драгоценные металлы. Парогазовая смесь (ПГС) может быть направлена в процесс синтеза метанола или на сжигание в энергоустановках. Шлак отверждают и в форме гранул удаляют из реактора для дальнейшей переработки. После процесса газификации железосодержащее сырье обрабатывается концентрированной соляной кислотой HCl или серной кислотой H₂SO₄ до растворения всего железа. После отделения железа, сырье представляет собой смесь сплавов золота, меди, серебра и других цветных металлов, которые можно отделить различными способами.

Пример теплового баланса процесса газификации представлены в таблице 1.

Таблица 1. Тепловой баланс процесса газификации

Приход	МДж/кг	%	Расход	МДж/кг	%
Q_n^c	14,906	98,65	$Q_{хим\ пгс}$	13,520	89,79
$Q_{нейтр}$	0,205	1,35	$Q_{физ\ пгс}$	1,565	9,79
			$Q_{шлак}$	0,026	0,22
Итого	15,111	100	Итого	15,111	100

*В. А. Екимова, П. Г. Кодолова, студ.;
рук. П. В. Хорева, асс. (НИУ «МЭИ», Москва)*

УТИЛИЗАЦИЯ ЗОЛЫ, ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ ПРИ СЖИГАНИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Сжигание осадков сточных вод является наиболее эффективным решением уничтожения вредных отходов [1]. Преимуществом данного метода является уменьшение массы и объема продукта очистки городских сточных вод. Сжигание осадка сточных вод снижает экологическую нагрузку на окружающую среду, так как объем золы примерно в 10 раз меньше объема осадка. Однако она так же, как и осадок, является отходом IV класса опасности [2]. Поэтому поиск полезного использования золы является важной и актуальной задачей для человечества.

Среди основных направлений утилизации золы определены следующие [2, 3]: высокотемпературный обжиг; получение безобжигового гравия; производство ячеистого пенобетона; применение золы после сжигания осадков в качестве наполнителя для бетона, асфальта.

ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» проводил множество исследований по использованию золы от сжигания ОСВ для изготовления строительных материалов, вследствие чего были сделаны выводы о возможности производства керамических материалов (керамического кирпича или керамзита).

Еще одна область применения золы, которая рассматривалась предприятиями в последние годы, — это дорожное строительство. Согласно проведенным исследованиям, зола может стать хорошей основой для состава, из которого изготавливают дорожные полотна. Это вызвано отличными вяжущими характеристиками золы. Однако, из-за высокого содержания в ней соединений тяжелых металлов и других токсичных компонентов, способных при контакте с водой переходить в подвижную форму, область применения этих материалов строго регламентирована. В результате этого строительные материалы, изготовленные с применением золы, образующейся после сжигания ОСВ, пользуются ограниченным спросом и неконкурентоспособны по сравнению с аналогами, полученными из первичных материалов.

Литература

1. **Бернадинер И. М., Хорева П. В. и др.** Выбор оптимальных направлений переработки и обезвреживания осадков сточных вод // *Экология и промышленность России*. 2012. № 6. С. 44–45
2. **Водоканал г. Санкт-Петербурга** [Электронный ресурс]
3. **Сватовская Л. Б. и др.** Новый строительный материал из осадка сточных вод // *Экология и промышленность России*. 2005. № 10. С. 20–21.

Н. А. Гегамян, студент;
рук. В. А. Ипполитов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ СОДЕРЖАНИЯ СВЯЗАННОГО УГЛЕРОДА (FC) В RDF НА РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ В ASPEN PLUS

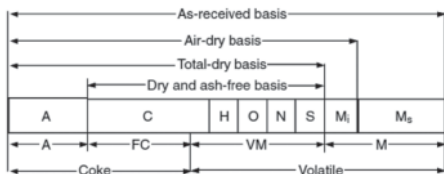


Рис. 1. Структура твердого топлива с учетом связанного углерода

При использовании моделирующей среды Aspen Plus для решения задачи газификации твердых топлив (в том числе RDF) возникает необходимость разобраться с такими понятиями, как «связанный углерод» (FC) и «технический анализ» (Proximal analysis).

Физическая сущность понятия «нелетучий углерод» (или «связанный углерод») становится понятной, если рассмотреть процесс выделения летучих из твердых топлив (биотоплив). Выход летучих веществ определяют, как потерю массы навески твердого топлива за вычетом влаги при нагревании без доступа воздуха в стандартных условиях. В состав летучих входит влага, смолы, метан и другие углеродосодержащие вещества. В отечественной литературе оставшаяся твердая масса после выделения летучих называется коксовым остатком. Структура твердого топлива в этом случае может быть представлена на рис. 1.

В моделирующей среде Aspen Plus проведен анализ влияния величины связанного углерода, полученной при экспериментальном и расчетном определении, на показатели процесса газификации биотоплива и угля.

Литература

1. **Haydary, J.** Gasification of Refuse-derived Fuel (RDF), *GeoScience Engineering*, 62 (1), p. 37–44 (2016).
2. **Basu, Prabir** Biomass gasification and pyrolysis: practical design and theory / Prabir Basu // 2010, Published by Elsevier Inc.

Д. Д. Голдобин, студ.; С. Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОИЗВОДСТВО ВОДОРОДА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

Базирование экологически чистой водородной энергетики на действующих способах производства водорода невозможно, так как затраты на производство водорода действующими способами превосходят энергию получаемого водорода, поэтому производство водорода на основании действующей инфраструктуры энергоснабжения представляет собой чистую потерю энергии [1]. Перспективными концепциями производства водорода являются атомно-водородная энергетика и возобновляемые источники энергии [1, 2]. Дополнительно к указанным концепциям предлагается разработка способов водорода при использовании вторичных энергетических ресурсов действующих производств, в частности тепловых электрических станций.

В работе на базе паротурбинной электрической станции планируется организация производства водорода методом паровой конверсии природного газа при использовании тепла промышленных и теплофикационных отборов.

Производство электрической энергии в России на тепловых электрических станциях составляет около 700 млрд кВт·ч в год. Производство водорода при использовании производственных и теплофикационных отборов в периоды отсутствия тепловой нагрузки теплофикационных турбин позволит уменьшить удельный расход топлива на выработку электроэнергии в среднем за год, примерно, на 20%. Оценка производства водорода на ТЭС в рамках Российской Федерации позволит получать 237 млрд м³ водорода, при использовании природного газа в количестве 72,6 млрд м³ (0,306 м³ ПГ/м³ Н₂), что в среднем 1,5–2,0 раза ниже действующих способов производства водорода из природного газа на основе паровой конверсии.

На основании данной работы появляется возможность расширения как внутреннего, так и внешнего рынка водорода, что связано с эффективностью его производства на тепловых электростанциях.

Литература

1. **Полякова Т. В.** Состояние и перспективы водородной энергетики в России и в мире [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://mgimo.ru/files/120132/polyakova_vodorod.pdf (дата обращения 30.11.2017).
2. **Водород в энергетике:** учеб. пособие / Р. В. Радченко, А. С. Мокрушин, В. В. Тюльпа. — Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2014. — 229 с.

*П. В. Хорева, асс., И. М. Бернадинер, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», Москва)*

ЭМИССИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ СЖИГАНИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Метод сжигания осадка сточных вод, как и метод высокотемпературного обезвреживания твердых коммунальных отходов, до сих пор подвергается критике. Возражения касаются, главным образом, возможной эмиссии высокоопасных экотоксикантов — диоксинов и загрязнения ими окружающей среды.

Инструментальные данные и результаты оценки выбросов полихлорированных дибензо-*p*-диоксинов (ПХДД) и полихлорированных дибензофуранов (ПХДФ) при работе установки по сжиганию осадков сточных вод, выполненные на Центральной станции аэрации г. Санкт-Петербурга (ЦСА) [1], свидетельствуют, что по характеристикам выбросов в атмосферу установки, используемые на ЦСА, превосходят средний уровень современных зарубежных предприятий этого профиля. Содержание диоксинов на выходе из печей, в атмосферном воздухе на территории промплощадки ЦСА, а также на границе санитарно-защитной зоны подтверждает, что применяемая технология сжигания осадка сточных вод и очистки дымовых газов обеспечивает очистку загрязнения газового выброса от диоксинов в соответствии с Директивой 2000/76 ЕС. При этом суммарное содержание диоксинов в диоксиновом эквиваленте на территории промплощадки и на расстоянии 500 м от источника выбросов в 5 раз ниже ПДКс.с.

Однако, известно, что городские очистные сооружения являются гигиенически значимыми источниками загрязнения атмосферного воздуха. Суммарный объем выбросов формируется по ходу технологического процесса. Так, выброс в атмосферу насчитывает 49 наименований химических веществ. Приоритетными загрязнителями являются сероводород, смесь природных меркаптанов, аммиак, оксид кадмия, метан, фенол, ацетальдегид, формальдегид, ацетон, оксид ртути желтой, взвешенные вещества, диоксины. Результаты расчетов зонального распространения выбросов и данные натурных исследований позволяют обосновать размеры санитарного — защитной зоны для городских станций аэрации (например, для ЦСА — 500 м, для Северной станции аэрации г. Санкт-Петербурга — 300 м).

Литература

1. **Аликбаева, Л. А.** Научные основы обеспечения гигиенической безопасности эксплуатации городских очистных сооружений с технологией сжигания осадка сточных вод: дис. ... докт. мед. наук: 14.00.07 / Санкт-Петербург. 2007. 396 с.

*В. П. Худякова, аспирант;
рук. В. А. Ипполитов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ЧЕРНОВОЙ МЕДИ

Существующие системы получения металлов из руд не соответствуют современным требованиям энергоэффективности, безотходности и экологичности. Metallургические комплексы потребляют значительное количество энергии и ресурсов, вырабатывают тонны токсичных отходов, которые чаще всего не подвергаются вторичному использованию и переработке. Таким образом, разработка более совершенных схем металлургических производств является актуальным направлением научной деятельности.

В работе рассмотрен вопрос применения математического моделирования процессов для решения задачи исследования методов повышения энергоэффективности систем производства черновой меди.

Автором проведено моделирование работы прямоточно-вихревой плавильной камеры (ПВПК). Наибольшее внимание уделено исследованию аэродинамики камеры (рис. 1), в том числе и с учетом движения частиц обрабатываемого материала, а также получению картины химических взаимодействий и поля температур (рис. 2).

Наряду с ПВПК рассмотрен вопрос моделирования котла-утилизатора, предназначенного для полезного использования теплоты высокотемпературных отходящих газов плавильного агрегата. Основной целью моделирования в данном случае было изучить влияние специфического состава газов на интегральные показатели теплообмена и сравнить полученные значения с величинами, рассчитанными по существующим теоретическим зависимостям, приведенным в [1] для дымовых газов котлов.

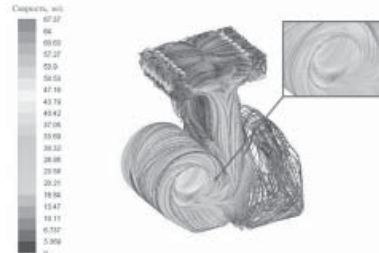


Рис. 1. Линии тока, раскрашенные по величине скорости потока



Рис. 2. Поле температур

Литература

1. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). — СПб, 1998. — 256 с.

*К. С. Кирюшина, студ.;
рук. С. Н. Петин, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА В РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Основная цель создания и применения водородных технологий — снижение зависимости экономики от углеводородных носителей и решение широкого круга экологических проблем. Применение водорода в различных технологиях дает значительные технологические и энергетические эффекты.

На данный момент имеется практический опыт эксплуатации электростанции мощностью 12 МВт на чистом водороде, расположенной в Италии. Водород на станцию поставляется местным нефтехимическим заводом, что совместно приводит к снижению выбросов парниковых газов. Аналогичные разработки производятся и в НИУ «МЭИ» на кафедре ЭВТ [1], где предлагаются способы производства водорода, базируемые на промышленных предприятиях черной металлургии, которые сопровождаются значительными энергосберегающими эффектами.

Анализ действующего производства водорода методом паровой конверсии природного газа (ПВК) показал, что расход природного газа составляет $0,46 \div 0,51 \text{ м}^3/\text{м}^3 (\text{H}_2)$ и максимальное его снижение возможно на $28,9 \div 35,9\%$ при использовании мероприятий интенсивного энергосбережения [2], но данного снижения недостаточно, чтобы снизить выход парниковых газов от произведенного водорода. В работе также анализируются другие возможные технологии производства водорода.

В работе показывается, что дальнейшее повышение эффективности производства водорода возможно на базе неиспользуемых вторичных энергетических ресурсов (ВЭР). Например, отходящих газов металлургических предприятий, неиспользуемой теплоты ТЭС, а также ВЭР других производств. Предлагаемые способы позволят производить водород со значительными энергосберегающими эффектами, что позволит организовать генерацию энергетических ресурсов в более широком объеме.

Литература

1. **Ключников А. Д., Петин С. Н.** Повышение энергетической и экологической эффективности производства водорода на базе комплексного использования природного газа на предприятиях черной металлургии // Вестник МЭИ. — 2008. — № 3. — С. 18–23.
2. **Ключников А. Д.** Основы теории интенсивного энергосбережения. Конспект лекция: учебное пособие / А. Д. Ключников. — М.: Изд-во МЭИ, 2016. — 148 с.

*А. В. Кононыхина, студент;
рук. В. Н. Кузьмин, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ, Москва)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЦЕМЕНТНОЙ ПЕЧИ ПРИ СОКРАЩЕНИИ ПОТЕРЬ ТЕПЛОТЫ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДЕНИЯ

Вращающиеся печи являются основными агрегатами для производства цементного клинкера. Цементная промышленность относится к весьма энергоемким видам производства, поэтому даже малая экономия энергетических ресурсов играет большую роль в сокращении расхода топлива.

Потери в окружающую среду составляют примерно 11–21% в расходных статьях теплового баланса цементных печей в зависимости от способа производства. Имеются различные возможности снижения этих потерь: изменение конструкции футеровки, использование потерь тепла через стенку для подогрева компонентов горения, возможность установки защитных экранов на внешнем ограждении и т. д.

Этому вопросу посвящена настоящая работа. Современная компьютерная техника позволяет выполнить многократные расчеты параметров печи для проведения детального анализа ее работы. Эти расчеты были проведены автором на основе оригинальной программы [1], разработанной на кафедре ЭВТ, в которую автором были внесены некоторые изменения. На основании результатов расчета по этой программе, представленных в табл. 1, можно прогнозировать значительное сокращение расхода топлива для современных печей.

Таблица 1. Результаты расчета расхода топлива при снижении потерь через стенку

Влажность сырья W=40%							
$\Delta Q_{oc}, \%$	10	20	40	50	60	80	100
$\Delta b, \%$	1,23	2,47	4,94	6,17	7,41	9,88	12,34
Влажность сырья W=10%							
$\Delta Q_{oc}, \%$	10	20	40	50	60	80	100
$\Delta b, \%$	2,10	4,20	8,41	10,51	12,61	16,82	31,85

Здесь ΔQ_{oc} — процент снижения потерь в окружающую среду через стенки печи; Δb — экономия расхода топлива по сравнению с первоначальным значением.

Данная таблица позволяет прогнозировать экономию топлива для печи мокрого способа производительностью 50 т/ч в объеме до 2 млн м³/год.

Литература

- Кузьмин В. Н., Морозов И. П.** Оптимизация параметров вращающейся печи на математической модели: методическое пособие. М.: Издательство МЭИ, 2014.

А. В. Коровяковский асп.;
рук. С. К. Попов, д. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПOTЕРЬ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДЕНИЕ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ

Через ограждение ванн стекловаренных печей передается теплопроводностью и рассеивается в окружающей среде тепловой поток $Q_{o.c.}$, кДж/(кг стекломассы). Внутренняя поверхность боковых стен ограждения печи участвует в сложном теплообмене с газовым объемом и расплавом, наружная поверхность — в свободно-конвективном и радиационном теплообмене с окружающей средой.

Величина расхода топлива V линейно зависит от $Q_{o.c.}$. Уровень $Q_{o.c.}$, определяется рядом факторов, в том числе интенсивностью теплообмена между наружной поверхностью ограждения и окружающей средой.

Известные эмпирические зависимости дают значительный разброс значений $\alpha_{нар.}$ — коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции на наружной поверхности ограждения ванной стекловаренной печи. Неопределенность в выборе расчетных соотношений для $\alpha_{нар.}$ затрудняет постановку теплотехнического расчета печи и получение адекватного значения расхода топлива.

С целью устранения указанной неопределенности выполнено в программной среде Phoenics моделирование стекловаренной печи. Результаты исследования полей температур, плотностей тепловых потоков и анар. описаны зависимостями числа Нуссельта Nu от числа Рэлея Ra для различных элементов ограждения печи (таблица 1). Для нахождения коэффициентов представленных зависимостей использован метод наименьших квадратов.

Таблица 1. Зависимость числа Нуссельта от числа Рэлея

Тип поверхности	Зависимость
Свод	$Nu = 1,76 Ra^{0,273}$
Под	$Nu = 35,9 Ra^{0,082}$
Боковая поверхность (раслав)	$Nu = 3,02 Ra^{0,226}$
Боковая поверхность (газ)	$Nu = 17 Ra^{0,2}$

Проведено теплотехническое обследование действующей стекловаренной печи. Полученная информация о температурном поле наружной поверхности ограждения печи соответствует результатам расчетов.

Е. С. Ковшикова, В. О. Беляева, студенты; рук-ли: А. А. Валинеева, асс., Т. А. Степанова к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГИЯ ИЗ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

На сегодняшний день мировое потребление энергии неуклонно растет, а природные энергоресурсы близки к истощению. Поэтому первоочередной задачей становится выявление нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и их эффективное применение. Таким источником являются твердые коммунальные отходы (ТКО).

Используя данные морфологического состава ТКО по г. Москве за 2015 г. [1] и теплотехнические характеристики отдельных групп компонентов [2], был просчитан элементный состав отходов на рабочую массу. Исходя из полученных значений, представленных на рис. 1, можно утверждать, что ТКО — нетрадиционный и возобновляемый источник энергии, по теплотехническим характеристикам сравнимый с углем (табл. 1).

Найденный состав позволил определить теплоту горения (1) и жаропродуктивность (2) ТКО.

$$Q_H^P = 0.339 \times C^r + 1.025 \times H^r - 0.109 \times (O^r - S^r) - 0.025 \times W^r \quad (1)$$

$$t_{ж} = Q_H^P / \sum V_i \times c_i \times (t_{ж}) \quad (2)$$

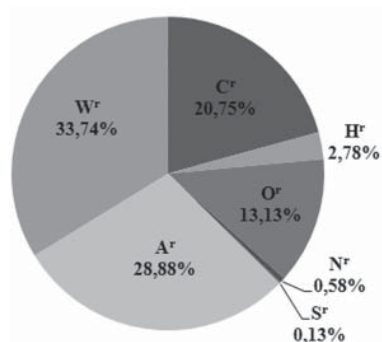


Рис. 1. Элементный состав ТКО

Таблица 1. Теплотехнические свойства ТКО и бурого угля [3]

Наименование	Состав, % на рабочую массу							t _ж , °C	Q _H ^P , МДж/кг
	Cr	Hr	Or	Nr	Sr	Ar	Wr		
ТКО	20.8	2.8	13.1	0.6	0.1	28.9	33.7	1920	7.6
Бурый уголь	29.1	2.2	8.7	0.6	2.9	23.5	33.0	2200	10.5

Применение твердых коммунальных отходов позволит заменить ископаемое топливо и получить его экономно.

Литература

1. Режим доступа: http://m.greenpeace.org/russia/Global/russia/report/toxics/obsor_othodi_msk.pdf
2. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/eksperimentalnoe-opredelenie-sostava-i-svoystv-tverdyh-kommunalnyh-othodov-klyuchevoj-etap-pri-razrabotke-programmnyh-meropriyatij-v>
3. Пурич В. Р. «Бытовые отходы» Энергоатомиздат; 2002 г, С. 112.

Е. О. Лебединский, студ.;
рук. С. К. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ КОМПАКТНОГО РЕГЕНЕРАТОРА

Повышение экономичности энергетических установок, решение проблем энергосбережения невозможно без создания эффективных теплообменных аппаратов, к которым относятся и регенеративные воздухоподогреватели (РВП) или регенераторы. Благодаря таким достоинствам, как высокая теплопередающая способность, компактность и дешевизна, регенераторы имеют предпочтительное применение там, где требуется небольшой температурный напор между теплоносителями (газами) и высокий КПД.

Регенеративные горелки (РГ) применяются в различных высокотемпературных установках черной и цветной металлургии, используются также в нагревательных печах. Они оснащены компактными регенераторами с длительностью цикла «нагрев — охлаждение» $\tau_{\Sigma} = 50 - 300$ с. Использование регенераторов обеспечивает глубокое охлаждение отходящих газов, что и составляет основу высокой энергетической и экономической эффективности РГ. Для анализа технических решений при создании РГ целесообразно использование возможностей математического моделирования.

Математическая модель компактного регенератора основана на следующей концептуальной модели его тепловой работы.

В период работы регенеративной горелки меняются во времени ее температурные и тепловые характеристики:

- температура отходящих газов $t_{o.g.}$ (температура дымовых газов на выходе из регенератора) в течение периода нагрева насадки $\tau_{н}$;
- температура горячего воздуха $t_{г.в.}$ (температура воздуха на выходе из регенератора) в течение периода охлаждения насадки $\tau_{охл}$;
- теплосодержание насадки Q , кДж.

При обработке результатов измерений использовались аппроксимирующая дробно-линейная (гиперболическая) функция, которая позволила определять асимптотические значения температур $t_{o.g.}$, $t_{г.в.}$ и соответствующие им количества циклов методом наименьших квадратов. Среднеквадратическое отклонение определения температур составило $\sigma(\bar{t}) = 0.4 \div 5$ °С.

Д. Р. Мишин, студент; рук. С. Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Добыча нефти — это крупная отрасль промышленности нашей страны, имеющая большую энергоемкость и требующая применения эффективных мер по энергосбережению.

Для эффективной разведки или разработки нефтяных месторождений используют различные технические решения, неотъемлемой частью которых является нефтяная скважина [1]. Истощенная нефтяная скважина проходит процесс ликвидации [1]. Вместо этого отработанную скважину можно переоборудовать в односкважинную систему съема глубинной тепловой энергии недр Земли [2].

Теплоносителем, обеспечивающим нужды нефтедобывающих комплексов, является горячая вода, подогрев которой можно осуществить в односкважинной системе съема энергии недр.

Исследование заключается в расчете скважинного теплообменника на основании математической модели и в определении экономии органического топлива при совместном включении в тепловую сеть традиционного источника энергии (газовой котельной) и скважинного теплообменника.

В табл. 1 представлены результаты расчетов экономии топлива с применением скважинного теплообменника в качестве дополнительного источника тепла для газовой котельной.

Таблица 1. Годовое потребление топлива

Общая потребность в топливе до реконструкции теплосети, т у.т.	4930,8
Общая потребность в топливе после реконструкции теплосети, т у.т.	1037,8
Экономия топлива, т у.т.	3892,9

Таким образом, экономия топлива на нужды теплоснабжения при использовании геотермальных источников энергии в местах нефтедобычи может составить почти 79%.

Литература

1. **Матвеев С. Н.** СПРАВОЧНАЯ КНИГА по добыче нефти. — НГДУ «Комсомольскнефть», 2001 — 268 с.
2. **Н. А. Гнатусь, В. А. Рыженков, А. В. Мартынов, Н. Е. Кутько, С. В. Григорьев** Использование петротермального (глубинного) тепла земли для энергоснабжения автономных потребителей // Энергосбережение и водоподготовка. — 2012. — № 3 — С. 23–27.

Е. А. Панькова, студ.; рук. С. К. Попов, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Актуальной является проблема полной или частичной переработки твердых коммунальных отходов (ТКО) с выделением вторичных ресурсов, что ведет к снижению количества ТКО, направляемых на полигоны, и имеет положительный экономический и экологический эффект.

Объектом исследования был выбран многокамерный газогенератор с циркулирующим кипящим слоем с использованием песка как промежуточного теплоносителя. В среде Mathcad на основе [1] производится расчет газогенератора на влажном и осушенном альтернативного топлива refuse derived fuel (RDF), состав которого был взят из [2]. Исследуется влияние параметров установки с воздушной газификацией RDF на КПД, сравниваются показатели эффективности, выявляется наиболее энергоэффективный способ использования альтернативного твердого топлива, рассчитывается состав генераторного газа после процесса газификации и его жаропроизводительность, производится сравнительный анализ с жаропроизводительностью других газов.

Исследованиями установлено, что КПД процесса газификации намного выше при использовании осушенного RDF. По сравнению с влажным топливом, химический КПД повышается на 10%, а термический на 1,5%. Это связано с сокращением количества влаги, содержащейся в топливе. Также выявлено, что теплота осушенного генераторного газа влажного RDF больше, чем у подсушенного, это связано с тем, что вода участвует в процессе газификации, вступает в химические реакции, следовательно, теплота повышается. Генераторный газ после газификации RDF имеет довольно высокую жаропроизводительность, его использование более экологично и наименее опасно для окружающей среды.

Использование RDF в качестве замены ископаемого топлива (угля, нефти, газа) позволяет снизить выбросы CO_2 в атмосферу, уменьшить зависимость экономики от ископаемого топлива и решить некоторые проблемы энергоэффективности в стране.

Литература

1. **Попов С. К.** Процессы и установки газификации топлива: Учебное пособие / С. К. Попов, В. А. Ипполитов. — М.: Изд-во МЭИ, 2016. — 48 с.
2. **Paisley M. A.** «Gasification of Refuse Derived Fuel in the Battelle High Throughput Gasification System», 1989, 66 с.

*А. О. Гейст студ.; М. В. Петряков студ.;
рук. М. В. Ермоленко, к. т. н.
(ГУ имени Шакарима города Семей, г. Семей)*

К ВОПРОСУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Для энергетического комплекса вопросы энергосбережения продолжают оставаться актуальными. Вопросы энергосбережения можно решать двумя путями:

- экономия топлива и энергоресурсов;
- качественная и эффективная теплоизоляция.

Можно добиться большой экономии энергетических ресурсов, используя теплоизоляционные материалы с соответствующими свойствами и правильно спрогнозированными изменениями этих свойств в различных условиях эксплуатации [1].

Целью исследования является изучение распределения температурных полей в плоской теплоизолированной стенке при различных степенях увлажнения материала.

В качестве исследуемого материала была взята каменная вата. Перед проведением исследований была определена гигроскопичность материала в зависимости от временного воздействия влаги.

На специально разработанной установке были определены коэффициенты теплопередачи через стенки ограждающего устройства для различной увлажненности исследуемого теплоизоляционного материала.

Во время исследований образцов теплоизоляционных материалов была проведена термографическая съемка изучаемого объекта, результатом которой явилось построение графиков изменения температуры на поверхности образца различной влажности.

В результате проведенных исследований было установлено, что увеличение влажности образцов до 80% приводит к значительному уменьшению коэффициента теплопередачи стенки в следствие образования тепловых мостиков в зоне увлажнения материала.

Литература

1. Немова Т. Н., Лежнева Ю. А., Цветков Н. А., Алексеева Е. Г. Влияние изменения теплопроводности теплоизоляционных материалов на тепловые потери магистральных трубопроводов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2016. — № 5 (58). — С. 151–160.

*Ю. И. Шиповская, студент;
рук. С. Н. Петин, к. т. н. доцент; (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА НА БАЗЕ КОТЕЛЬНОЙ В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Значительная доля систем теплоснабжения в Российской Федерации базируется на отопительных котельных, например, в Москве количество котельных составляет около 442 общей мощностью 17,8 тыс. Гкал/ч [1]. При эксплуатации большинства котельных лимиты по электроэнергии и топливу, определяемые договорами по электроснабжению и топливоснабжению, в значительной степени превышают фактическое использование. В работе рассматривается газовая котельная, расположенная в Московской области с установленной мощностью 74 Гкал/ч. Проанализирована ее работа и выявлено следующее: разница между договорным лимитом по газу и фактическим использованием составляет 6128 тыс. нм^3 природного газа; котельная рассчитана на работу пяти котлов, но на практике работают только два, в связи с этим, расход электроэнергии на выработку тепла значительно меньше плана на 5770 МВт \times ч; снижение выручки за счет нереализованного (невыверенного) тепла составляет 62,7 млн руб. (40853 Гкал при цене 1534 руб. за 1 Гкал);

В работе предлагается не используемые кубометры природного газа и электроэнергию направить на получение сжиженного природного газа (СПГ). Благодаря установке СПГ котельная может улучшить свою экономическую ситуацию, реализовывая сжиженный природный газ. Также СПГ может использоваться и самой котельной для покрытия пиковых нагрузок газопотребления и в качестве резервного вида топлива.

Рассмотрено несколько циклов сжижения природного газа, произведен анализ возможности использования каждого цикла для котельной. При цене 18,7 руб. за 1 кг СПГ и при имеющихся ресурсах котельной реализация СПГ может составлять более 86,1 млн руб. Планируется выбор оптимального способа сжижения, подборка оборудования для производства СПГ на базе котельной и оценка экономической целесообразности проекта.

Литература

1. **Региональная Энергетическая Комиссия г. Москвы.** Буклет Тарифное регулирование в цифрах и фактах. [Электронный ресурс]. URL: https://pt.slideshare.net/REC_Moscow/buklet-rek2013 (Дата обращения 30.11.2017)
2. **Энциклопедия теплоснабжения общие сведения г. Москва** [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rosteplo.ru/w/%D0%9C%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B2%D0%B0> (Дата обращения 30.11.2017)

А. А. Сиденко, студ.; С. Н. Петин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ОСНОВАНИИ СРАВНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ УСТАНОВОК

Метод получения водорода паровой конверсией природного газа известен давно, однако до недавнего времени отечественная промышленность не имела опыта создания установок по производству водорода из природного газа.

Для выяснения эффективности данного способа производства отечественными установками экологически чистого водорода, который применяется в энергетике и промышленном производстве, предлагается провести сравнительную оценку по объективным энергетическим и экологическим критериям [1].

В процессе исследования были сопоставлены производительности установок, реализации технологических схем, энергоэффективность и экологические составляющие установок.

Дальнейшее повышение энергетической эффективности производства энергосберегающего и экологически эффективного производства водорода возможно на базе комбинирования технологических процессов и комплексного использования природного газа в черной металлургии [2].

В процессе дайной работы предполагается сравнение установок отечественного и зарубежного производства с целью выявления отрицательных и положительных аспектов использования оборудования различного производства. Анализ сравнения скажет о важности развития российского рынка водородных установок и о важности внедрения их в российскую промышленность.

Литература

1. **Водород в энергетике:** учеб. пособие / Р. В. Радченко, А. С. Мокрушин, В. В. Тюльпа. — Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2014. — 229 с.
2. **Петин С. Н., Верлан А. В.** Утилизация конвертерного газа с целью получения водорода // Тезисы докладов VIII Международной научно-практической конференции «Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии в промышленности. 100 лет отечественного проектирования металлургических печен», 10–12 октября 2016 г. М.: Издательство МИСиС, 2016. С. 316–319.

*И. С. Соломатов, маг., М. Г. Сулейманов, асп.;
рук. В. В. Бухмиров, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)*

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРОСТЫХ ТЕЛ РАЗНОСТНЫМИ И КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНЫМИ МЕТОДАМИ ПРИ МАЛЫХ ЧИСЛАХ ФУРЬЕ

Численные методы решения дифференциальных уравнений широко используются для решения задач тепломассообмена, включая решение краевой задачи теории теплопроводности в телах простой и сложной формы. В настоящее время наиболее востребованными численными методами являются метод сеток или метод конечных разностей (МКР) и метод конечных элементов (МКЭ). Численные решения МКР и МКЭ на участке установившегося (квазистационарного, регулярного) режима теплообмена при оптимальных сетках практически совпадают. Однако в начальный период нагрева (охлаждения) при малых числах Фурье ($Fo < 1/3k$, где k — коэффициент формы простого тела) оценка точности численного расчета весьма актуальна [1].

Сравнение точности решения численными методами МКР и МКЭ выполнено на примере расчета температурных полей тел простой формы (неограниченная пластина, неограниченный цилиндр и шар) при граничных условия I, II и III родов на модельных задачах. В качестве эталона для сравнения было принято известное аналитическое решение [1]. При этом решение модельной задачи аналитическим методом и методом сеток получено при помощи специально разработанной программы [2], а численное решение методом конечных элементов при помощи программно-вычислительного комплекса SolidWorks FlowSimulation [3].

В результате тестовых расчетов при малых числах Фурье выявлено увеличение погрешности численного решения в зависимости от кривизны поверхности простого тела: $\leq 1\%$ для пластины, $\leq 3\%$ для цилиндра и $\leq 5\%$ для шара. При этом для пластины и цилиндра численные решения МКР и МКЭ практически совпали. Максимальная погрешность в районе 18% наблюдалась при расчете методом конечных элементов температуры в центре шара при $Fo = 0 \div 0,04$.

Литература

1. **Бухмиров В. В.** Тепломассообмен: учебное пособие для бакалавров; Иваново: Ивановский гос. энергетический ун-т им. В. И. Ленина, 2014. — 359 с.
2. **Свид. 2017663065** РФ. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Исследование процессов нестационарной теплопроводности и термонапряженного состояния твердых тел / Бухмиров В. В., Созинова Т. Е.
3. **Алямовский А. А.** SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. — М.: СПб БХВ-Петербург, 2005.

Н. Ю. Свидерская, студ.;
рук. И. П. Морозов, к.т.н., проф., (НИУ «МЭИ»)

АВТОГЕННЫЙ ПРОЦЕСС В СИСТЕМЕ ПЕРЕРАБОТКИ МЕДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

В настоящее время система переработки медных концентратов имеет ряд недостатков: большое потребление ресурсов на технологию, высокая энергоемкость производства и т. д. [1]. Альтернативой существующей технологии является автогенный процесс прямого получения черновой меди.

Автогенными называются те процессы, которые протекают полностью за счет внутренних источников энергии (теплоты реакций окисления сульфидов).

Для определения условий автогенного процесса разработана балансовая математическая модель, представляющая собой систему алгебраических уравнений: материальные балансы отдельных элементов и тепловой баланс в полных энтальпиях. Для ее реализации необходимо знание только начального и конечного составов. Эта модель реализована в программе Excel. С помощью нее определены условия автогенного процесса для широкой гаммы разных факторов [2].

Исследовано влияние температуры дутья: на концентрацию диоксида серы (SO_2) в отходящих газах; на степень обогащения воздуха кислородом.

Разработана теплотехнологическая система автогенного процесса переработки медных концентратов включающая: теплотехнологический реактор, восстановительный реактор, конверсионный аппарат, реактор разложения карбоната кальция, котел-утилизатор, барабанную печь, и т. д. Расчеты показывают ее энергетическую эффективность.

Литература

1. **Набойченко С. С. и др.** Процессы и аппараты цветной металлургии // Екатеринбург: УГТУ.— 1997.
2. **И. П. Морозов, В. Н. Кузьмин, А. В. Бурмакина.** Расчеты процессов переработки сульфидных концентратов. М.: МЭИ, 2016.

*С. В. Толканов, студент;
рук. К. В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КРЫШКИ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ ДЛЯ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОГО КОВША ОБЪЕМОМ 6 ТОНН И РАСЧЕТА ПОЛУЧАЕМОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Мировое производство стали по 66 странам, в 2016 г. составило 1,628 млрд тонн. Россия остается 5-м крупнейшим производителем стали в мире с объемом выпуска в 70,8 млн тонн, что составляет 4,3% от общемирового производства. Об этом говорится в сообщении World Steel Association (WSA, Worldsteel).

На действующих промышленных предприятиях, сталь после выплавки перемещается в сталеразливочных ковшах с температурой около 1600°C, часть этой энергии теряется во время транспортировки и разливки, в следствии теплопередачи через стенки и радиационного теплообмена с поверхности расплавленного металла. Способом уменьшения потерь может послужить применение крышек термостатирования. В табл. 1 указаны потери энергии и их зависимость от загрузки ковша с использованием крышки и без нее.

Целью работы является исследование математической модели разливки стали из ковшей с крышкой и без, и последующий расчет энергетического эффекта от установки крышки.

Таблица 1. Потери энергии при различной загрузке ковша

Режим	Загрузка, %	$Q_{ст}$, Вт	$Q_{д}$, Вт	$Q_{в}$, Вт	$Q_{ср}$, Вт
Без крышки	100	79628	15695	605170	700493
	75	64194	15592	590182	669969
	50	48954	15490	575474	639921
	25	33915	15387	561043	610346
С крышкой	100	77025	15182	17924	110132
	75	62082	15079	17803	94966
	50	47335	14977	17672	79995
	25	32785	14874	17561	65221

*В. Д. Ванюшкин, соиск.;
рук. С. К. Попов, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КОКСОВОГО ОСТАТКА ПРОЦЕССА ПИРОЛИЗА ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

В современном мире проблема утилизации изношенных автомобильных покрышек с каждым годом становится все более актуальной в связи с тем, что структура и состав резины делают их чрезвычайно устойчивыми к биологическому разложению.

Одним из перспективных направлений по их термохимической утилизации является пиролиз с получением жидкого топлива, газообразной фракции и твердой фракции — коксового остатка или промышленного углерода [1].

Пиролиз измельченных автомобильных шин может быть реализован во вращающихся барабанных печах. Для моделирования тепловой работы и инженерной разработки таких пиролизных печей важно знать теплопроводность твердой фазы при различных температурах, наблюдающихся в рабочем пространстве печей. Кроме этого, необходимы данные по теплопроводности коксового остатка, выгруженного из печи, для поиска эффективных способов его охлаждения. С этой целью разработана методика эксперимента, создана опытная лабораторная установка и проведены экспериментальные исследования.

В основе эксперимента используется метод плоского слоя, который относится к стационарным методам определения теплопроводности материалов. Исследованиям подвергались коксовые остатки процесса пиролиза при 300, 400 и 500°C с разной дисперсностью, которые получены из промышленной установки — вращающейся барабанной печи.

При обработке результатов измерений использовались аппроксимирующая дробно-линейная (гиперболическая) функция, которая позволила определять асимптотическое значение теплопроводности и соответствующей ей температуры методом наименьших квадратов. Среднеквадратическое отклонение определения теплопроводности составило $\sigma(\lambda) = (2,4 \div 6,8)10^{-3}$ Вт/(м·°C). Относительная погрешность $\Delta(\lambda) = 0,008 \div 0,023$. Аналогичные показатели при определении средней температуры составили: $\sigma(\bar{t}) = 0,3 \div 0,6^\circ\text{C}$ и $\Delta(\bar{t}) = 0,004 \div 0,012$.

Литература

1. **Kalitko V.A.** Steam-thermal recycling of tire shreds: calculation of the rate of explosion-proof feed of steam. J. Eng. Phys. Thermophys. 2008. 81, 781–786.

*Е. А. Жукова, Ч. А. Ламажык, студенты;
рук. Т. А. Степанова, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ, Москва)*

О СВОЙСТВАХ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА С ДОБАВЛЕНИЕМ ШЛАКА ОТ СЖИГАНИЯ ТБО

В современном мире осуществляется вывоз огромного количества мусора, и с каждым годом этот поток увеличивается. Чтобы меньше ТБО было на свалках, осуществляется его переработка. Одной из таких технологий является сжигание ТБО, в ходе которого образуется шлак. Примером его полезного использования может быть добавка шлака в шихту для производства, в частности, керамических изделий.

В литературе нечасто встречаются данные по физико-химическим свойствам керамических кирпичей с добавлением шлака от сжигания ТБО. В настоящее время стали проводится испытания, связанные с таким кирпичом. Так как для использования его в строительстве, надо знать какими свойствами он обладает. Сопоставление некоторых свойств этого кирпича с обычным представлены в табл. 1.

Таблица 1. Свойства стандартных кирпичей и кирпичей с добавлением шлака

Свойства	Стандартный кирпич	Кирпич со шлаком
Водопоглощение, %	Не менее 6	19,5
Усадка, мм/м	0,03–0,1	минимальная 0,05
Морозостойкость, циклы	50–100	35–50
Плотность, кг/м ³	1500–2200	1000–1650
Теплопроводность, Вт/м	0,33–0,7	0,35–0,65
Огнестойкость, ч	10	8
Звукоизоляция	Хорошая	Хорошая

Как видно из таблицы, свойства не очень сильно отличаются. Но ряд данных требуют подтверждения, а также исследования, в том числе экспериментального.

Литература

1. Шиманский А. Ф., Власов О. А., Никифорова Э. М., Еромасов Р. Г., Симонова Н. С., Васильева М. Н. Рециклинг шлаков высокотемпературного сжигания твердых бытовых отходов в технологии керамического кирпича. *Фундаментальные исследования*, 2016, № 3–1.
2. Долгарев А. В. Вторичные сырьевые ресурсы в производстве строительных материалов. Стройиздат — 456 с.

К. Э. Петров, студент; рук. С. К. Попов, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛООБМЕННИКОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕКЛОВАРЕННОЙ УСТАНОВКИ

Исследование тепловой схемы высокотемпературной теплотехнологической установки (ВТУ) зачастую строится на решении системы уравнений тепловых балансов отдельных теплообменников, составляющих схему. Включение в решаемую систему дополнительных уравнений, описывающих теплопередачу в теплообменниках, позволит получить более обоснованную информацию о температурных и других режимных параметрах исследуемой тепловой схемы.

Учет теплопередачи в теплообменнике можно произвести посредством числа единиц переноса NTU (number of transfer units), определяемого соотношением

$$NTU = kF/W_{\min}, \quad (1)$$

где $W_{\min} = \min(W_1, W_2)$; значение k — коэффициент теплопередачи, Вт/(м²К); F — площадь поверхности теплообмена, м²; W_1, W_2 — теплоемкости потоков, участвующих в теплообмене, Вт/К; W_{\min} — минимальное значение теплоемкости потока, выбираемое из W_1 и W_2 [1].

Выполнено исследование тепловой схемы стекловаренной установки с термохимической рекуперацией теплоты отходящих газов на основе паровой конверсии природного газа, при этом для реактора паровой конверсии задавалась и варьировалась величина NTU . Выявлено существенное влияние NTU на параметры схемы: при увеличении NTU с 1,05 до 3,00 температура синтез-газа выросла с 645°C до 1022°C, удельный видимый расход топлива (в пересчете на условное топливо) снизился с 169 кг/т до 137 кг/т.

На основе анализа литературных данных [1–3] установлено, что для теплообменников, используемых в составе тепловых схем ВТУ, характерен диапазон значений NTU [0,27; 2,92]. Соответствующие значения эффективности теплообменника лежат в диапазоне [0,24; 0,94].

Литература

1. **Цветков Ф. Ф.** Задачник по тепломассообмену: учебное пособие / Ф. Ф. Цветков, Р. В. Керимов, В. И. Величко. — 2-е изд., исправ. и доп. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. — 196 с.
2. **Тебеньков Б. П.** Рекуператоры для промышленных печей. — М.: Metallurgia, 1975. — 296 с.
3. **Василькова С. Б., Генкина М. М., Тымчак В. М.** Расчет термических и нагревательных печей: Справ. изд. Под ред. Тымчака В. М. и Гусовского В. Л. — М.: Metallurgia, 1983. — 480 с.

Секция 34

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Председатель секции — к.т.н., доцент М.В. Горелов

Секретарь секции — ст. преподаватель Е.М. Горячева

*А. Р. Аляутдинов, асп.; А. Е. Шаповалов, М. Е. Шаповалова, студ.;
рук. Г. П. Власенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ НАЧАЛА ДЕНАТУРАЦИИ БЕЛКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ ИХ ВЛАЖНОСТИ

Сублимационная сушка широко применяется в химической, фармацевтической, пищевой промышленности и позволяет сохранить ценные компоненты термочувствительных продуктов. Технология сублимационного обезвоживания основана на способности льда испаряться при определенных условиях, минуя жидкую фазу. Изучение взаимного влияния параметров процесса обработки пищевых продуктов является особенно важным аспектом при теоретическом обосновании рекомендуемых режимов сублимационной сушки при атмосферном давлении.

В результатах исследований указывается на ограничение допустимой температуры поверхности сублимированных белковых материалов при тепловом досушивании, так как при повышении температуры выше 60°C происходит денатурация белковых соединений, которая полностью изменяет физические свойства и качественные характеристики сублимированных продуктов [1]. Обоснованное повышение данной температуры позволит значительно сократить продолжительность сушки в сублимационной сушильной установке при атмосферном давлении.

Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) — наиболее эффективный и наглядный метод исследования процесса тепловой денатурации белковых систем мышечных волокон. Применение метода ДСК позволяет получить информацию об изменениях, происходящих в белках при тепловой денатурации белка.

Экспериментальное исследование с целью уточнения значения допустимой температуры нагрева сублимированных белковых материалов в процессе досушивания было выполнено с применением дифференциального сканирующего калориметра DSC131, имеющегося в лаборатории кафедры ТМПУ. Результаты опытов по определению начала процесса денатурации в зависимости от содержания влаги в сублимируемом материале (мясо индейки) показали, что при влажности образца в диапазоне 17–20% денатурация не наблюдается до достижения температуры 81°C.

Литература

1. Джамаль М. А., Камовников Б. П., Антипов А. В., Бабицкая Н. А. Исследование процесса производства сублимированных мясopодуlтов при атмосферном давлении // Пути интенсификации производства и применения холода в отраслях АПК: тезисы докладов. М. 1985.

И. И. Дугур, студ.; рук. Н. М. Савченкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КРИОГЕННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ИК-ПРИЕМНИКОВ. РАДИАЦИОННАЯ СИСТЕМА ЗАХОЛАЖИВАНИЯ

Данная работа посвящена изучению криогенных холодильников, которые могут обеспечить необходимый рабочий температурный диапазон работы фотоприемника для дистанционного зондирования Земли с космических аппаратов.

В космических системах дистанционного зондирования Земли важную информацию дает инфракрасный канал 8–12 мкм. Работоспособность этого канала обеспечивается охлаждением фотоприемников до криогенных температур. Из существующих систем охлаждения наиболее оптимальными являются устройства на основе радиационных пассивных излучающих холодильников, не дающие вибровоздействий на системы фотоприемников при получении изображения и имеющие больший срок службы [1].

Набор охладителей, которые могли бы обеспечить необходимую рабочую температуру фотоприемных устройств ИК — приемников, весьма ограничен и пользование ими не всегда удобно, а иногда и невозможно. Это требует создания специальных охлаждающих устройств, которые допускают достаточно длительную и непрерывную эксплуатацию [2].

Одним из обязательных условий успешного внедрения научных достижений в области физики низких температур является высокий уровень развития и использования микрокриогеники, которая уже выделилась в самостоятельную область науки и техники. А одним из главных факторов в развитии наукоемких приложений криогеники являются космические исследования. В настоящее время в нашей стране и за рубежом разрабатывается множество спутниковых систем для работы на околоземных орбитах от 200 до 3000 км, которые должны быть испытаны в камерах, имитирующих в земных условиях космическое пространство [3].

Литература:

1. Пассивная криогенная система охлаждения для геостационарного спутника / Абросимов А. И., Пичхадзе К. М., Сысоев В. К., Верлан А. А., Lu Yan, Liu Dingzhen, Wang Shangang, Li Zhong // Оптический журнал. 2011. № 78. С. 73–78.
2. **Формозов Б. Н.** Аэрокосмические фотоприемные устройства в видимом и инфракрасном диапазонах: Учеб. Пособие / СПбГУАП. СПб., 2002. 120 с.: ил.
3. Космический аппарат «Метеор — М» № 1 [Электронный ресурс]//раздел сайта АО «Корпорация «ВНИИЭМ» URL: http://www.vniiem.ru/ru/index.php?option=com_content&view=article&id=604:-l-r-1&catid=82:-l-3r&Itemid=62 (дата обращения 05.11.2017)

А. А. Мхоян, студ.; рук. В. С. Глазов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ РАСЧЕТА ДОЛИ ИЗЛУЧЕНИЯ, ИСХОДЯЩЕГО ОТ КОНВЕКТОРА

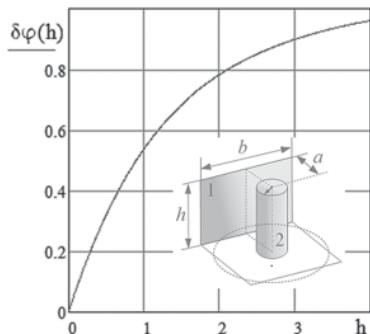


Рис. 1. Влияние высоты цилиндра на погрешность расчета УКИ по [1]

При расчете конвектора используется методика, в которой прямоугольные ребра заменяются круглыми ребрами [1]. Качественная оценка такого действия говорит о том, что шаг расположения ребер и их величина может влиять на величину конвективного и лучистого потока в общем тепловом потоке. Действительно, при обтекании поверхности круга частицы жидкости проходят разную длину пути, что сказывается в целом на величине конвективного потока по сравнению с обтеканием прямоугольной поверхности. Что касается излучения, то форма поверхностей, образующих замкнутую систему, влияет на распределе-

ние потоков по поверхностям.

Учитывая вышесказанное, целью работы является определение погрешности и области, в которой можно использовать подход работы [1].

Поскольку в научной литературе нет формулы для расчета углового коэффициента излучения (УКИ) с поверхности цилиндра на квадрат, находящийся в его основании, использована формула для расчета УКИ [2] с цилиндра на прямоугольную поверхность, расположенную параллельно его оси, а также свойства УКИ.

В результате наших исследований установлено, что погрешность расчета, при использовании указанного выше приема, может быть значительной. Из рис. 1 видно, что при высоте цилиндра $< 0,2$ мм погрешность определения УКИ не превышает 10%. Отсюда следует, что рекомендуемое расстояние в диапазоне 4–6 мм [3], не дает точную картину распределения конвективного и лучистого потоков в общем потоке, исходящего от конвектора.

Литература

1. **Гаряев А. Б., Рекуненко Е. С.** Влияние геометрических факторов на теплоотдачу трубы с квадратными поперечными ребрами при естественной конвекции. Вестник МЭИ. № 5, 2016.
2. **Спэрроу Э. М., Сесс Р. Д.** Теплообмен излучением. Ленинградское отделение: Энергия, 1971.
3. **Аронов И. З., Фиалко Н. М., Пресич Г. А.** Анализ работы отопительных конвекторов // Промышленная теплотехника. 2003. Т. 25. № 1. С. 78–81.

М. О. Мовчан, студ.; рук. О. Е. Прун, ст. преп. НИУ «МЭИ»

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОДОЛЬНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОКАНАЛЬНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Некоторые авторы, изучающие микроканальные теплообменники, утверждают, что их эффективность снижается ввиду влияния следующих факторов: продольная теплопроводность (далее — ПТ), расходная неравномерность на входе в каналы, теплопритоки из окружающей среды. Критерии оценки степени влияния продольной теплопроводности на передаваемый тепловой поток у разных авторов разные [1]. Нет единого подхода к оценке влияния продольной теплопроводности на теплопередачу и тепловую мощность теплообменников.

В работе была записана математическая модель теплообменного аппарата с учетом продольной теплопроводности в стенке каналов и проведен численный эксперимент. В расчетах варьировались следующие параметры: теплопроводность материала стенки (50–400 Вт/(м·°C)), отношение водяных эквивалентов теплоносителей, максимальный температурный напор в аппарате (40–100°C; под максимальным температурным напором понимается разность температур теплоносителей на входе в аппарат).

Результаты расчетов показали, что изменение коэффициента теплопроводности и температурного напора в указанных интервалах не оказывают существенного влияния на эффект продольной теплопроводности. Передаваемый тепловой поток с учетом ПТ изменяется не более чем на 1,5% по сравнению с тепловым потоком без учета ПТ.

Наибольший эффект на решение оказывает изменение соотношения водяных эквивалентов. При $W_1/W_2 > 1$ влияния ПТ практически не наблюдается, как для противотока, так и для прямотока. При $W_1/W_2 < 1$ и $W_1/W_2 \approx 1$ значения эффективности и передаваемого теплового потока для обеих схем движения падают. В последнем случае для противоточной схемы движения значения эффективности и передаваемого теплового потока снижаются на 3,5 и 2,2% соответственно, а для прямоточной на 1,4 и 3,2%.

Литература

1. **Валуева Е. П.** Особенности гидродинамики и теплообмена при течении в микроканальных технических устройствах / Валуева Е. П., Гаряев А. Б., Клименко А. В. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — 140 стр.

*И. С. Наплеков, студент;
рук. Д. И. Пащенко, к. т. н., доц. (СамГТУ, Самара)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОТОКА ПРИ СМЕШИВАНИИ ВНУТРИ ЭЖЕКТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CFD

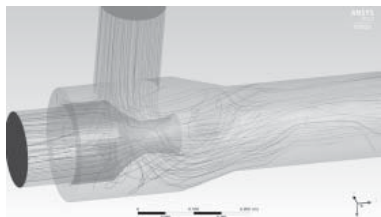


Рис. 1. Линии тока (траектории движения) пара в эжекторе

Струйные аппараты получили широкое применение практически во всех отраслях промышленности благодаря своей особенности — повышению давления газового потока без непосредственной затраты механической работы при исключительной простоте конструкций. Таким образом, практическая необходимость диктует потребность в разнообразных эффективных, быстрых, недорогих, методах расчета течений и путей смешивания внутри эжектора [1]. Один

из таких это CFD-моделирование (computational fluid dynamics — вычислительная гидродинамика). Основными достоинствами данного метода научного поиска является возможность получения наглядного представления о характере протекающих процессов в исследуемом объекте и возможность исследования его различных конструкций без создания дорогостоящих экспериментальных установок. Цель работы: оценка возможностей использования CFD-моделирования для получения наглядных результатов решения задач истечения в эжекторе.

Итоговые результаты соответствуют действительному рабочему режиму эжектора в пределах отклонений, вызванных ограничениями мощности компьютера и версии программного обеспечения Ansys for Students, а также вследствие приближений и допущений, принятых во время расчета задачи в модуле Setup (Fluent). На рис. 1 изображены линии тока (траектории движения) рабочего тела — водяного пара в эжекторе.

Опыт, полученный при расчете парового эжектора, открывает перспективы для разработки новых проектных инженерных решений в области численного расчета и анализа, а также оптимизации работы пароструйных аппаратов.

Литература

1. Соколов Е. Я., Зингер Н. М. Струйные аппараты. — Энергия. 2-е издание. — 1970.

*В. И. Ангелов, Г. И. Парфенов, студенты; Д. А. Лапатеев, асп.,
рук. С. Н. Литвинов, Н. Н. Смирнов, доц. (ИГЭУ, Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОБМЕНА РЕЗИСТИВНОГО ДЕЛИТЕЛЯ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

Разработка новых конструкций измерительных трансформаторов напряжения является актуальной задачей для технического и коммерческого учета потребленной электрической энергии. Электрические процессы, происходящие в делителях, состоящих из группы резисторов, связаны с выделением тепловой энергии. Перегрев резистора может привести к выходу из строя данной измерительной техники.

В лаборатории кафедр «Техника высоких напряжений» и «Промышленная теплоэнергетика» была проведена серия физических экспериментов по изучению влияния электрического напряжения, высоких температур окружающего воздуха и инсоляции на температурный режим работы резистивного делителя, а также по определению температуры разрушения резистора при неблагоприятных условиях. Изучалась динамика происходящих процессов.

В программе COMSOL Multiphysics с помощью метода конечных элементов моделировался динамический теплообмен между различными конструкциями трансформаторов напряжения и окружающей средой.

Внутренние тепловыделения в резисторах задавались исходя из протекающего в них электрического тока на основании закона Джоуля-Ленца. Внешние условия определялись изменяемой дневной температурой наружного воздуха для июльских условий южных регионов России, а также инсоляционной характеристикой, с помощью специальной встроеной в программу процедуры.

В результате проведенного математического и физического моделирования было выяснено, что наибольшие значения температур на резистивных элементах фиксируются во второй половине дня при западной ориентации в случае сверхнормативных значений напряжения. Данные моделирования использованы при разработке алгоритмов тепловой диагностики состояния разработанных цифровых трансформаторов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в ИГЭУ в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» по теме «Мультифункциональная система на основе цифровых трансформаторов тока и напряжения для цифровой подстанции» (Соглашение № 14.577.21.0276 о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017 г., уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57717X0276).

*А. С. Попова, студ.;
рук. Н. М. Савченкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ АКТИВНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ФОТОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

При проектировании систем обеспечения тепловых режимов бортовых фотоприемных устройств (ФПУ) наиболее острой проблемой является обеспечение высокой тепловой стабильности в условиях криогенных температур. Температура ФПУ должна поддерживаться в диапазоне 70–80 К, а ее характерное отклонение от заданного значения не должно превышать 0,1–0,5 К [1]. Поэтому для эффективной работы систем охлаждения требуются сложные технические решения, соответствующие следующим показателям: надежность; эффективность; минимальные размеры; минимальная потребляемая мощность; низкая стоимость; длительный ресурс работы.

Для термостатирования ФПУ широко используются баллонные дроссельные системы охлаждения, работающие за счет расхода газа из баллонов высокого давления. Недостатком их применения являются повышенные требования по чистоте рабочих тел [2].

В состав бортовых криогенных систем охлаждения могут входить аккумуляторы холода (АХ), использующие для работы предварительно накопленный холод теплоемкой массы, либо фазовый переход при низких температурах [3]. Однако при их использовании отклонение от температуры стабилизации может достигать от 1 до 3 К. Для устранения нестабильности температуры между криогенным АХ и ФПУ устанавливают термоэлектрический холодильник (ТЭХ). Его горячий спай располагают на АХ, а холодный спай — на ФПУ. Тепловая стабильность достигается путем изменения силы тока в ветвях ТЭХ по мере увеличения температуры АХ [4].

В рамках данной работы проведен анализ активных систем охлаждения бортовой аппаратуры и последних разработок в данной области.

Литература

1. **Сармин Д. В., Довгялло А. И.** Предварительные исследования тепловых процессов в баллоне с криогенной заправкой бортовой дроссельной системы. Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. С. П. Королева, 2011, № 3 (Ч. 4). С. 78–85.
2. **Сармин Д. В.** Дроссельная бортовая система охлаждения на базе баллона с криогенной заправкой. Прикладная физика, 2010, № 2. С. 129–132.
3. **Зиновьев В. И., Довгялло А. И.** Аккумуляторы холода для бортовых криогенных систем охлаждения космических аппаратов. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2015, № 6 (2), т. 17. С. 402–410.
4. **Морозов А. С., Кротов А. С., Каськов С. И.** Оценка применимости термоэлектрической холодильной машины для термостабилизации фотоприемного устройства дистанционного зондирования Земли. Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение, 2016, № 5. С. 48–58.

*М. И. Широкова, И. О. Фоменков студ;
рук. Н. М. Савченкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОДИНОЧНОЙ ТЕПЛОЙ ТРУБЫ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ В КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

Актуальность использования данной методики в космической отрасли, заключается в возможности проектирования терморегулирующих систем в летательных аппаратах.

Целью методики является определение необходимой длины тепловой трубы для охлаждения радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) при заданных теплоотдаче от РЭА и температуре на поверхности тепловой трубы в зоне испарения.

Разработанная методика позволяет определить длины испарителя и конденсатора, неизвестные температуры в конструкции тепловой трубы, во время ее функционирования.

Изначальные данные для разработки методики: аксиальная тепловая труба, с заданными диаметрами наружной и внутренней стенки, а также с заданным диаметром парового канала [1]; тепловая труба делится на три основные зоны — испарения, транспортная и конденсации; функционирование тепловой трубы осуществляется в космическом пространстве.

В данном расчете за основу берутся аналитические уравнения процессов теплоотдачи [2, 3] — теплопередача (через стенку тепловой трубы), конвекция (в зоне испарения: от стенки к фитилю, от фитиля в паровое пространство; в зоне конденсации: из парового пространства к фитилю, и от фитиля к стенки тепловой трубы), излучение (от стенки тепловой трубы в космическое пространство).

В результате решения системы уравнений, находятся все неизвестные величины, и, анализируя, делается вывод о необходимой длине, которая требуется для охлаждения РЭА, а также об изменении количества тепловых труб.

Моделирование этого процесса позволяет с высокой точностью определять все необходимые величины, которые впоследствии влияют на проектирование терморегулирующих систем.

Литература

1. **С. Чи.** Тепловые трубы теория и практика. Москва. Машиностроение. 1981
2. **А. Я. Шелгинский.** Тепловые трубы в системах теплоснабжения и утилизации ВЭР. МЭИ. 2006
3. **В. Я. Сасин.** Проектирование ТА специальных систем искусственного климата. МЭИ. 2012

А. С. Вакурова студ.;
рук. Е. М. Горячева ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЛАГОВЫПАДЕНИЯ ПРИ ХРАНЕНИИ ЗЕРНА

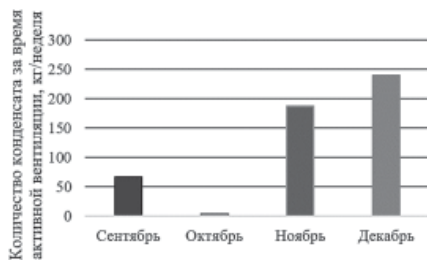


Рис. 1. Количество конденсата за время активной вентиляции по месяцам

Устаревшие технологии хранения зерновой продукции ведут к значительным потерям объема злаковых, исчисляемых в миллионах рублей в год. На данный момент, наиболее распространенными и востребованными являются металлические силосы, которые вытесняют железобетонные, построенные в прошлом столетии.

В работе составлена математическая модель для определения количества конденсата, образующегося в подкрышном пространстве силосной конструкции при активной вентиляции зерновой массы. Расчет количества конденсата (рис. 1) проводился для климатических условий Ставропольского края, который являлся одним из лидеров производства и хранения зерна в 2016 году по данным Минсельхоза РФ.

Для уменьшения влаги в подкрышном пространстве предложено применение теплоизоляционного материала для покрытия крыши, что приводит к увеличению температуры стенки крыши силоса, которая принимает значения выше температуры точки росы. Как следствие, сокращается количество конденсата на поверхности до минимальных значений, снижаются потери продукции.

Рассмотрены различные виды тепловой изоляции, проведен расчет минимальной толщины изоляции и капитальных затрат.

Литература

1. **Гаряев А. Б., Яковлев И. В.** Утилизация теплоты вторичных энергетических ресурсов в конденсационных теплообменниках: учебное пособие — М.: Издательский дом МЭИ, 2010. — 120 с.

Секция 35

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Председатель секции — к.т.н., доцент. В.С. Глазов

Секретарь секции — ст. преподаватель Е.М. Горячева

*В. И. Ангелов, Г. И. Парфенов, студ.; рук. В. К. Пыжов, к.т.н., доц.,
Смирнов Н. Н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКРАНОВ В ОКНАХ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОГО МИКРОКЛИМАТА

В настоящее время в РФ затраты на отопление, вентиляцию, кондиционирование воздуха и ГВС составляют примерно 160 млн т. у.т. (20% топливно-энергетического баланса страны) [1]. На отопление расходуется 80% из вышеуказанных затрат. Для достижения цели по снижению себестоимости продукции, выпускаемой на промышленных предприятиях, необходимо, в том числе, уделить особое внимание к мероприятиям, способствующим повышению производительности труда и уменьшению затрат топливно-энергетических ресурсов.

Авторами были разработаны, запатентованы и испытаны конструкции окон с теплоотражающими экранами панельного, рулонного и жалюзийного типа, выполненные из металла. Применение экранов целесообразно в темное время суток или в отсутствии людей. Применение экранов не только снижает тепловые трансмиссионные потери, но и позволяет понизить температуру воздуха при дежурном режиме отопления, причем предварительная осушка воздуха предоставляет возможность еще более уменьшить значение данного параметра. Была произведена серия физических и компьютерных экспериментов по моделированию процесса теплопередачи через окна с экранами.

Система динамического микроклимата (ДМ), повышающая работоспособность за счет возбуждения центральной нервной системы, подает в помещение воздух с параметрами, которые непрерывно меняются во времени.

Была определена эффективность применения энергосберегающих экранов в окнах, дополнительного понижения температуры воздуха в нерабочее время при предварительной осушке воздуха при организации динамического микроклимата в помещениях промышленных предприятий.

Литература

1. **Прима Л. В., Горелов М. В., Глазов В. С., Фелькер Э. К.** Информационная база данных по оптическим и теплозащитным характеристикам строительных материалов // Энергосбережение — теория и практика: труды Восьмой международной школы-семинара молодых ученых и специалистов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — С. 165–170.

В. И. Аношина, студент; рук. М. Ю. Юркина, доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОЙ ФЕРМЫ ОТ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

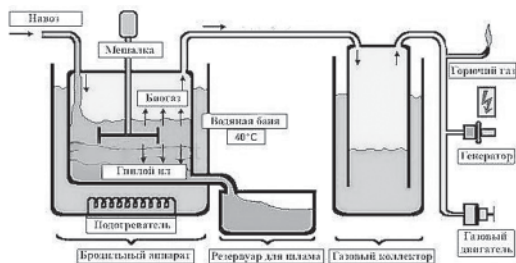


Рис. 1. Принципиальная схема биогазовой установки

В наше время остро встает вопрос об использовании возобновляемых энергетических ресурсов. В России по большей части развито получение энергии ветра, несмотря на большой потенциал биоэнергетики.

Использование биогазовых установок способно решить проблемы экологически безопасной утилизации органических отходов, уменьшения загрязнения окружающей среды, а также получения альтернативной энергии и энергосбережения. К тому же такой подход позволит устранить вопросы обеспечения энергией предприятий, расположенных вдали от централизованных источников.

Исследование заключается в расчете стоимости энергообеспечения традиционными методами и при помощи биогазовых установок коровника на 200 голов молочно-товарной направленности. Принципиальная схема биогазовой установки представлена на рис. 1.

К установке было принято три биореактора. Капитальные затраты составили 2 463 300 рублей. На основании расчетов выяснилось, что срок окупаемости составит около четырех лет. Проект реализации такой установки позволяет полностью заместить потребление теплоты и электрической энергии из централизованных источников. Также ассортимент продукции, производимой на ферме, может быть расширен за счет реализации экологически чистых удобрений, полученных при переработке биомассы.

Литература

1. Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М. Биогаз. Теория и практика. 1982

А. М. Исхакова, асп.; рук. И. В. Яковлев, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

ФОРМУЛА ДЛЯ РАСЧЕТА ОБОБЩЕННОЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ТИПА «ВОЗДУХ–ВОДА»

Тепловые насосы (ТН) различных производителей имеют разную количественную зависимость коэффициента трансформации энергии и теплопроизводительности от температуры наружного воздуха. Для анализа эффективности применения ТН приходится рассматривать каждый конкретный ТН в отдельности. Актуальной является задача обобщения характеристик ТН различных производителей и вывода усредненной формулы для расчета относительной теплопроизводительности.

В ходе исследования были рассмотрены данные о температурах воздуха и воды, коэффициента трансформации и теплопроизводительности таких производителей ТН, как *NIBE*, *KOPCA*, *DanHeat*, *Mitsubishi*, *Altalgroup*, *Daikin* и др. Были анализированы типы зависимостей теплопроизводительности от температуры наружного воздуха при различных температурах воды и наоборот. В результате было решено обрабатывать данные типом поверхности второго порядка. Обобщенная формула зависимости:

$$\bar{K} = A_0 + A_1 \cdot T_a + A_2 \cdot T_a^2 + A_3 \cdot T_w + A_4 \cdot T_a \cdot T_w, \quad (1)$$

где $\bar{K} = \frac{\bar{\mu}}{Q_{THU}}$ — относительный поправочный коэффициент; $\bar{\mu} = \frac{\mu}{\mu_{ном}}$ — относительный коэффициент трансформации; $\mu_{ном}$ — номинальный коэффициент трансформации при $T_w = 328,15K$ и $T_a = 280,15K$; $\bar{Q}_{THU} = \frac{Q_{THU}}{Q_{THU}^{ном}}$ — относительная теплопроизводительность; A_0, A_1, A_2, A_3, A_4 — искомые коэффициенты в уравнении; T_a, T_w — температуры воздуха и воды, соответственно, K . Коэффициенты в уравнении поверхности были получены методом наименьших квадратов (МНК) [1].

$$\bar{K} = -7,816154 + 0,022317 \cdot T_a + 0,000179 \cdot T_a^2 + 0,07545 \cdot T_w - 0,000395 \cdot T_a \cdot T_w \quad (2)$$

Приведенная выше формула (2) позволяет проводить расчеты эффективности применения ТН в более сжатые сроки с относительной погрешностью не более 31%.

Литература

1. **Вычислительные методы: учебное пособие, 4-е издание, стереотипное** / А. А. Амо-сов, Ю. А. Дубинский, Н. В. Копченова. — Санкт-Петербург: Лань, 2014.

А. М. Исхакова, асп.; рук. И. В. Яковлев, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ТИПА «ВОЗДУХ–ВОДА», РАБОТАЮЩИХ В БИВАЛЕНТНОМ РЕЖИМЕ

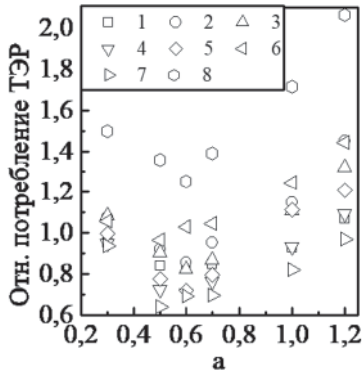


Рис. 1. Зависимость параметра a от относительного потребления ТЭР:
 1 — Владивосток; 2 — Москва;
 3 — Ярославль; 4 — Киров;
 5 — Волгоград; 6 — Красноярск;
 7 — Симферополь; 8 — Геленджик

топливе. Оптимизация заключается в определении номинальной теплопроизводительности ТНУ, как доли от расчетной отопительной нагрузки объекта (параметр a), при которой затраты топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в условном топливе минимальны или не больше, чем затраты условного топлива на покрытие отопительной нагрузки за отопительный период при теплоснабжении от централизованной тепловой сети.

Исследование проводилось методом численного моделирования с использованием фактических климатических данных по стоянию средних температур за отопительный период в таких городах, как Владивосток, Волгоград, Геленджик, Киров, Красноярск, Москва, Симферополь, Ярославль. Исследование показало, что существует минимум потребления ТЭР при работе ТНУ совместно с дополнительным источником тепловой энергии. Минимум достигается при значении параметра $a = 0,6$. Доля тепловой энергии, поступающей от дополнительного источника, доставляющая минимум энергетических и финансовых затрат, индивидуальна для каждого потребителя и зависит от климатических условий. Для районов со средней температурой наружного воздуха не выше -2°C эта доля составляет примерно 0,2 от суммарного потребления энергетических ресурсов.

Целью данного исследования является энергетическая и экономическая эффективность применения теплонасосных установок (ТНУ), работающих в бивалентном параллельном режиме, для нужд теплоснабжения. В бивалентном параллельном режиме работы тепловой насос обеспечивает тепловой энергией здание вплоть до той мощности, на которую он рассчитан. При возрастании нагрузки, включается второй источник тепловой энергии, который работает на органическом топливе. Далее оба теплогенератора работают параллельно.

Ставилась задача оптимизации режима работы ТНУ в составе системы теплоснабжения, в качестве дополнительного источника энергии которой применяется централизованная тепловая сеть или местная котельная, работающей на органическом

П. С. Клейменова, В. А. Круглова, студ.;
рук. М. В. Горелов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ НА ОСНОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

По данным Минстроя РФ, фактические теплототери в жилых домах на 20–30% превышают проектные значения вследствие низкого качества строительства и эксплуатации. Контроль нормируемых показателей тепловой защиты зданий выполняется путем натуральных испытаний [1].

Цель данной работы — определение фактического значения сопротивления теплопередаче многослойной ограждающей конструкции (ОК) по результатам натурального эксперимента в соответствии с [2].

Объект теплотехнических исследований — двухэтажный дом, расположенный в Московской области, общей площадью 250 м². По полученным результатам (температуры внутреннего и наружного воздуха, наружной и внутренней поверхностей ОК, плотности теплового потока) было рассчитано фактическое значение сопротивления теплопередаче, равное $R^{\phi}=3,32 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. По [2] был проведен расчет требуемого и приведенного значения сопротивления теплопередаче. Были получены следующие величины сопротивления теплопередаче: $R_o^{\text{треб}} = 2,99$; $R^{\text{пр}} = 3,69 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ (требуемое, приведенное соответственно).

По проделанной работе, можно сделать выводы о том, что определение фактического значения сопротивления теплопередаче ОК на основании результатов натурального эксперимента возможно с требуемой точностью (15%). Однако это трудоемкий процесс, т. к. требуемый для анализа и расчета временной интервал изменения температуры и плотности теплового потока должен быть максимально приближен к стационарному режиму. Разница между фактическим и приведенным R составляет 11%, что удовлетворяет требованиям нормативных документов [1].

Литература

1. ГОСТ Р 54853-2011 «Здания и сооружения. Методы тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций.» — М.: ФАУ «ФЦС», 2012. — 20 с.
2. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий: актуализированная редакция СНиП 23-02-2003». — М., 2012. — 100 с.

Т. П. Конева, студ.; рук. М. Ю. Юркина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАБОТАННОЙ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ВОДЫ

Актуальной является проблема рационального использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Люди все чаще применяют энергосберегающие технологии, использующие нетрадиционные возобновляемые источники энергии, но забывают об экологических последствиях. На пути развития геотермальной энергетики на полуострове Камчатка возникают значительные проблемы, связанные с загрязнением поверхностных водостоков, вследствие сброса отработанных термальных вод. Изучение вопроса эффективного использования отработанной геотермальной воды, исключая негативное влияние на экологическую обстановку Национального природного поселка Быстринского района Камчатской области с. Эссо, является актуальной с научной и практической сторон задачей. Произведена оценка эффективного использования отработанной геотермальной воды, путем сравнения двух различных систем. Это расчеты системы теплообменников и расчет теплонасосной установки.

По результатам проведенного исследования (см. табл. 1) выполнена оценка эффективности использования отработанной геотермальной воды [1]. Применение системы теплообменных аппаратов позволяет достичь требуемых параметров температур, снизить количество потребляемой термальной воды из скважины при снижении вдвое капитальных затрат.

Таблица 1. Результаты сравнения систем теплообменных аппаратов и с использованием теплонасосной установки

Наименование величины	Система теплообменных аппаратов	Теплонасосная установка
Температура охлажденной термальной воды	34°C	12°C
Температура термальной воды поступающей в бак-охладитель	34°C	37°C
Экономия потребления термальной воды из скважины	7%	31%
Оценка затрат на приобретение систем	4 804 695 руб.	7 133 393 руб.

Литература

1. **Михайленко Е. В.** Тепловой и гидравлический расчет теплообменного аппарата: мет.: мет. указания / Е. В. Михайленко — Ухта: УГТУ, 2013. — 36 с.

Ю. В. Коротке, асп.; рук. А. Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ В СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХОЛОДА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Целью работы являлось исследование различных способов охлаждения молока на комбинатах или заводах и оценка возможности и целесообразности снижения энергопотребления систем охлаждения путем использования естественного холода.

Для молочного комбината была предложена система охлаждения, включающая в себя как традиционное охлаждение с помощью чиллера, так и естественное охлаждение с помощью вентиляторной градирни и бака-аккумулятора холода. Все физические процессы были смоделированы в программной среде Matlab Simulink согласно уравнениям (1) — (5), на основании которых были получены данные об энергопотреблении системы в течение года для климатических условий г. Москвы.

$$Q = k_1 \cdot F_1 \cdot (t_1(\tau) - \bar{t}_2(\tau)) = G_1 \cdot c_p \cdot (t_2''(\tau) - t_2'), \quad (1)$$

где k_1 — коэффициент теплопередачи между водой в баке-накопителе и оборотной водой от градирни, Вт/м²·К; $t_1(\tau)$ — температура воды в баке-накопителе в момент времени τ , °С; t_2' — температура оборотной воды на входе в бак-накопитель, °С; $t_2''(\tau)$ — температура оборотной воды на выходе из бака-накопителя в момент времени τ , °С; G_1 — расход оборотной воды в контуре бак-накопитель — градирня, кг/с; $\bar{t}_2(\tau)$ — среднее арифметическое температур t_2' и $t_2''(\tau)$, °С

$$Q = -k_1 \cdot F_1 \cdot (t_1(\tau) - \bar{t}_2(\tau)) = m_{H_2O} \cdot c_p \cdot \frac{dt_1(\tau)}{d\tau}, \quad (2)$$

где m_{H_2O} — масса воды в баке-накопителе, кг

$$m_{H_2O} \cdot c_p \cdot dT = -G_2 \cdot c_p \cdot (T(\tau) - T'') \cdot d\tau, \quad (3)$$

где $T(\tau)$ — температура воды в баке-накопителе в момент времени τ ; T'' — температура воды, возвращаемой в бак-накопитель, °С; G_2 — расход воды в контуре бак-накопитель — цистерна молока, кг/с

$$m_m \cdot c_p^m \cdot d\theta = G_2 \cdot c_p \cdot (T(\tau) - T'') \cdot d\tau, \quad (4)$$

где θ — температура молока в цистерне в текущий момент времени, °С; m_m — масса молока в цистерне, кг

$$-G_2 \cdot c_p \cdot (T(\tau) - T'') = k_2 \cdot F_2 \left(\theta(\tau) - \frac{T(\tau) + T''}{2} \right), \quad (5)$$

где k_2 — коэффициент теплопередачи между водой и молоком, Вт/м²·К.

Предложенная система охлаждения позволила снизить энергопотребление на 1 000 кВт·ч в год, что при текущем значении тарифа составляет 3 580 472,7 рублей в год. Получаемая экономия составляет 10,4% от затрат на электроэнергию в традиционном режиме работы системы охлаждения.

*М. В. Козлова, студент; рук. А. В. Банников к.т.н., доц.,
С. А. Банникова, ст. преп. (ИГЭУ, Иваново)*

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СЕТЯХ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ г. ИВАНОВО

Целью работы является определение величины максимального потенциала энергосбережения соответствующей действительным тепловым потерям сети системы централизованного теплоснабжения в течении отопительного периода при соответствующих среднемесячных температурах наружного воздуха и грунта для различных температурных графиков работы системы теплоснабжения города Иваново [1].

Расчеты были выполнены для двухтрубной системы теплоснабжения подземной прокладки в непроходных каналах, с внутренним диаметром трубопровода 0,2 м [3], с учетом дополнительных потерь [4]. Изоляция подающего и обратного трубопроводов толщиной 42 мм выполнена из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке [2].

Проведенные исследования показали, что тепловые потери сети теплоснабжения обладают достаточным потенциалом для использования их в качестве низкопотенциального источника энергии в трансформаторах теплоты.

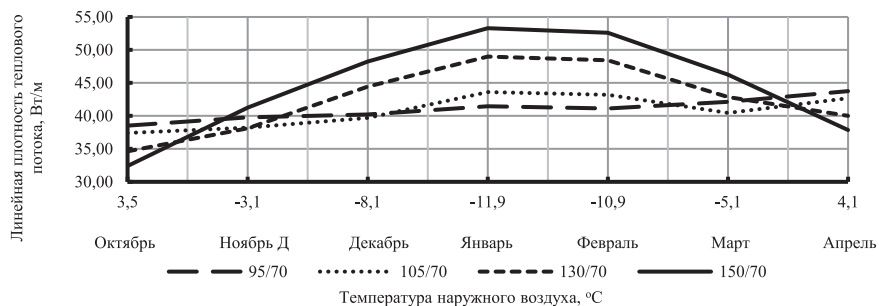


Рис. 1. Зависимость линейной плотности теплового потока от температуры наружного воздуха

Литература

- СП 131.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. Строительная климатология / Минрегион России. — М.: ГП ЦПП, 2011. — 114 с.
- ГОСТ 30732-2006 Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке // Технические условия. — М.: Стандартинформ, 2006. — 48 с.
- СП 124.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003. Тепловые сети / Минстрой России. — М.: Минрегион России, 2012. — 78 с.
- СП 61.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов / Минрегион России. — М.: ЦПП, 2012 — 44 с.

*А. М. Львова, аспирант;
рук. А. А. Сухих, д. т. н. («НИУ «МЭИ», Москва)*

АНАЛИЗ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНДЕНСАЦИИ НЕВОДЯНОГО РАБОЧЕГО ВЕЩЕСТВА ЦИКЛА РЕНКИНА

Как известно, основным продуктом автономного генерирующего модуля на основе органического цикла Ренкина является электрическая энергия. Помимо основного продукта в результате подвода или отвода теплоты производятся также вторичные энергетические ресурсы (ВЭР). В цикле Ренкина с контуром регенерации имеют место два ВЭР, первый из которых полезно используется внутри самого контура (регенеративный подогрев конденсата рабочего вещества), что способствует повышению внутреннего КПД цикла, а вторым ВЭР можно считать теплоту, отводимую в конденсаторе цикла Ренкина и которую можно также полезно использовать. Нужно принимать во внимание, что температура конденсации рабочего вещества цикла Ренкина прямо влияет на эффективность цикла, и чем температура отвода теплоты ниже, тем полезная работа цикла Ренкина становится больше. Существует вопрос выбора оптимального режима работы органического цикла Ренкина для производства оптимально требуемых величин тепловой и электрической энергии. Крайними случаями совместной работы органического цикла Ренкина будут следующие:

1. Основной продукт — электрическая энергия. В этом случае эффективность цикла Ренкина на органическом рабочем веществе будет максимальна.
2. Основной продукт — электрическая энергия, вторичный продукт — тепловая энергия, отводимая в конденсаторе цикла Ренкина на частичное покрытие тепловой нагрузки у потребителя. Комбинированная система на базе органического цикла Ренкина в данном случае должна работать в оптимальном режиме производства электрической и тепловой энергии.

В первом случае выработка электрической энергии будет максимальна, следовательно, внутренний КПД цикла Ренкина также будет максимален, но при этом отсутствует производство тепловой энергии. Второй случай интересен тем, что с одной стороны выработка электрической энергии будет ниже, чем в первом случае, но при этом будет получен второй продукт — тепловая энергия. Внутренний КПД цикла Ренкина будет ниже, но если проводить эксергетический анализ рассматриваемых случаев, то при определенном оптимальном значении температуры конденсации рабочего вещества эксергетический КПД цикла при выработке и электрической и тепловой энергии будет выше.

*О. Д. Найденко ст.; Д. В. Смоляков ст.;
рук. М. В. Горелов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ДИСТАНЦИОННОЕ ПОКВАРТИРНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

В настоящее время актуальным стоит вопрос, касающийся энергосберегающих мероприятий в жилых помещениях. Внедрение современных технологий, позволяет не только сократить расходы, но и поддерживать комфортный микроклимат в помещении. На протяжении последних 3–5 лет вновь возведенные жилые здания в московском регионе оснащаются индивидуальными приборами учета потребленной теплоты системами отопления каждой квартиры, также на подводе к отопительным приборам установлены терморегуляторы. Собственники квартир заинтересованы в экономии, т.к. оплачивают только потребленную теплоту. На современном этапе развития науки и техники собственникам квартир доступны дистанционные системы регулирования, которые реализованы при помощи определенного набора элементов (термостаты, беспроводные термоголовки, координатор сети, интернет шлюз, беспроводной центр коммуникации, термоэлектрический сервопривод). Управление температурой в помещении осуществляется посредством приложения на смартфоне.

Цель настоящей работы — определить экономию теплоты и денежных средств при реализации данной системы на примере 2-х комнатной квартиры 4-х секционного монолитного жилого дома. Управление системой отопления осуществляется в следующем режиме: при нахождении людей в помещении выставляется расчетная температура в соответствии с требованиями [1], а на период отсутствия (рабочий день) — 14–16°C. Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение затрат на потребление тепловой энергии

Показатель	Система без регулирования	Дистанционное регулирование
Потребляемая тепловая энергия, Гкал	4,082	2,245
Затраты за отопит. период, руб	8576,28	4727,25

Экономия тепловой энергии составляет 1,837 Гкал, что в денежном эквиваленте — 3849 руб. за отопительный период.

Литература

1. **ГОСТ 30494-2011.** Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. М.: Стандартинформ, 2013.

*Н. Е. Пахотин асп.: рук-ли Е. Е. Корочкина к.т.н., доцент,
И. Н. Пахотина к.т.н., доцент (ИВГПУ, Иваново)*

РАЗРАБОТКА ЖИДКОСТНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МАТЕРИНСКОЙ ПЛАТЫ ФОРМ ФАКТОРА АТХ

В настоящее время использование жидкостного охлаждения в приборостроении приобретает большое значение. Преимущества жидкостного охлаждения — это его высокая эффективность и небольшие размеры [1].

Нами разработана система жидкостного охлаждения материнской платы форм фактора АТХ со всем навесным оборудованием. Для этого ее полностью погружают в диэлектрическую жидкость, с достаточно высокой теплопроводностью, которая не будет оказывать негативного влияния на компоненты материнской платы. В качестве такого диэлектрика предлагается регенерированное минеральное масло. Минеральное масло способно эффективно защищать от коррозии и пыли, не содержит воды и кислорода, позволяет продлить срок эксплуатации оборудования. В основе решения лежит технология имерсионного охлаждения материнской платы и ее компонентов в диэлектрической жидкости. Циркуляция хладагента обеспечивается естественной конвекцией и дополнительными насосами. Сама жидкость охлаждается во внешнем охладителе за счет теплообмена с окружающей средой. Особенности исполнения системы: алюминиевое шасси заполняется жидкостью с гермоводом и подключается внешний теплообменник. Полная герметичность шасси достигается возможностью исполнения с быстръемной крышкой для оперативного технического обслуживания. Все электронные компоненты погружаются в специализированную диэлектрическую жидкость. Минеральное масло после использования в качестве охлаждающей жидкости материнской платы можно регенерировать и при добавлении соответствующих присадок использовать повторно. Нами разработана система регенерации отработанного масла с применением мембранной технологии глубокой очистки методом ультрафильтрации.

Таким образом, использование разработанной нами системы охлаждения в жидкости снижает среднее потребление энергии сервером на 10%, а расход энергии, необходимой на его охлаждения снижается на 8%.

Литература

1. **Корочкина Е. Е., Корнилов М. А.** Моделирование теплового режима микропроцессорной аппаратуры тканепечатного агрегата // Известия Вузов, Технология текстильной промышленности. 2013. № 2. С. 135–138.

А. В. Тарарыков, асп.; рук. А. Б. Гаряев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОКАНАЛЬНЫХ ТЕРМОХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ

В настоящее время, в промышленности, использующей высокотемпературные установки, имеется большой потенциал для повышения энергетической эффективности. Одним из разрабатываемых в настоящее время способов повышения энергетической эффективности и сокращения расхода ископаемого топлива является применение термохимической регенерации. Данная технология использует тепловую энергию дымовых газов для протекания эндотермической реакции паровой конверсии метана, в результате которой происходит образование синтезированного топлива, которое можно использовать в технологическом процессе.

В настоящее время проводятся работы по оптимизации процесса протекания термохимической реакции в реакторе. Одним из перспективных направлений является применение микроканальных термохимических реакторов.

Целью работы является изучение возможности использования микроканальных реакторов в промышленных процессах.

Численные эксперименты рассматриваемой установки паровой конверсии проводились при помощи математической модели, описание которой приведено в [1] с дополнениями для расчета течения ламинарного потока реагирующей смеси в микроканалах. Модель была апробирована на основе экспериментальных данных, описанных в [2].

В результате численного эксперимента было показано, что геометрия микроканального реактора хорошо масштабируется, в рассмотренных пределах расхода реагирующей смеси (25–100 м³/ч), степень завершенности реакций составляет 80–90%. Моделирование и эксперимент производились при соотношении $H_2O:CH_4 = 3$, не допускающем высокого сажеотложения. Полученные результаты подтверждают возможность применения микроканальных реакторов в промышленных процессах.

Литература

1. **Тарарыков А. В.** Исследования в направлении совершенствования методики оценки энергосберегающего и экологического эффекта от применения термохимической и комплексной регенерации теплоты уходящих газов: дис. ... магистр. 140100. Москва, 2013.
2. **V. V. Kuznetsov, O. V. Vitovsky, and O. A. Gasenko.** Methane Steam Reforming in an Annular Microchannel with Rh/Al₂O₃ Catalyst. *Journal of Engineering Thermophysics* September 2009, Volume 18, Issue 3, pp 187–196.

А. А. Жирова, Т. А. Матухнов, студенты;
рук. М. Ю. Юркина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Удельная тепловая характеристика — значение наибольшего потока теплоты, необходимого на обогрев здания или сооружения, используется при расчете системы отопления. Если расчетное значение удельной тепловой нагрузки будет выше нормативного, то можно говорить о низкой энергоэффективности здания. Энергоэффективность в данном случае — показатель, оценивающий, насколько эффективно здание расходует тепловую энергию в процессе эксплуатации [1].

Расчет удельного расхода тепловой энергии определяется соотношением:

$$q_{уд} = 10^3 \cdot Q_{co} / (V_h \cdot D) \quad (1)$$

где Q_{co} — расход тепловой энергии на отопление здания в течение отопительного периода, Вт; D — градусо-сутки отопительного периода.

В работе рассмотрены три типа зданий, для которых рассчитаны нагрузки на системы отопления по укрупненным и нормативным показателям, выполнена оценка энергетической эффективности [2].

Результаты проведенного исследования, основанные на теоретических и расчетных данных позволяют спроектировать, возвести и эксплуатировать здания с повышенной энергоэффективностью. Для снижения нагрузки на систему отопления зданий предложены энергосберегающие мероприятия и дана оценка эффекта от их внедрения, результаты которой представлены на рис. 1.

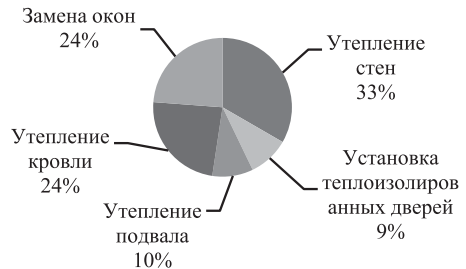


Рис. 1. Результаты внедрения энергосберегающих мероприятий

Литература

1. Сканава А. Н., Махов А. М. Отопление. Учебник для вузов. М: Издательство АСВ, 2006.
2. Строительные нормы и правила. Тепловая защита зданий: СП 50.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. — М.: Минрегион России, 2013.

*П. С. Клейменова, В. А. Круглова, студентки;
рук. М. В. Горелов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОЙ ВЛАГИ НА ВЕНТИЛИРУЕМЫЕ ФАСАДЫ

Главной проблемой, связанной с эксплуатацией различных фасадных систем является проникновение влаги в слой утеплителя. Данный факт может привести к существенному снижению показателя термического сопротивления стены. Одной из основных причин проникновения влаги в утеплитель является атмосферная влага.

В работе рассмотрено влияние дождевых осадков на конструкции навесных вентилируемых и, для сравнения, на конструкции навесных скрепленных фасадов в различных климатических регионах нашей страны и сделаны выводы о целесообразности их применения на различных территориях. В скрепленной фасадной системе большая часть влаги, попадающей на поверхность фасада, накапливается или передается в соседний слой. В навесных вентилируемых фасадах воздушный зазор обеспечивает капиллярный разрыв и удаление влаги под действием гравитационных сил, благодаря чему большая часть влаги дренирует и удаляется. [1].

Практически на всей территории Центрального федерального округа применение вентилируемых фасадов будет спорным вопросом, который нужно рассматривать в частном порядке для какой-либо конкретной местности, в зависимости от ориентации здания и розы ветров в этой местности [2]. В большей части северных и северо-восточных регионов нашей страны, за исключением таких сухих районов как республика Саха, Оренбургская, Омская область и др., применение фасадных систем с зазором имеет смысл, несмотря на их высокую стоимость. Данный анализ проведен только с точки зрения выпадения дождевых осадков и не учитывает остальные факторы, влияющие на фасады.

Литература

1. **Официальный сайт «Alucom»** [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://alucom.ru>.
2. **СП 50.13330.2012.** Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция взамен 23-02-2003 — М.: Минрегион России, 2012.

Секция 36

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Председатель секции — зав. каф. ПТС, к.т.н. Ю.В. Яворовский
Секретарь секции — к.т.н., доцент Е.В. Жигулина

С. Р. Алимкулова, студ.;
рук. А. Е. Кондратьев, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

ВНЕДРЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

На сегодняшний день повышение уровня энергоэффективности систем теплоснабжения является актуальной проблемой. На данный момент транспортировка тепловой энергии потребителям осуществляется через центральные тепловые пункты (ЦТП). ЦТП, в большинстве случаев, обслуживают группы зданий. Системы такого типа уже надежны и служат причиной значительных потерь тепла при подаче отопления и горячей воды потребителю. Основная проблема заключается в том, что в большинстве жилых домов регулирование потребления тепловой энергии на вводе системы отопления невозможно. Одним из возможных путей решения проблемы эффективности регулирования теплоснабжения в жилых домах является устройство индивидуальных тепловых пунктов, которые используются для обслуживания одного здания или его части.

Внедрение ИТП в жилых домах позволит существенно повысить качество теплоснабжения, снизить потери тепла при транспортировке, сократить расход топливных ресурсов и повысить эффективность режима работы тепловых сетей, что приведет к повышению надежности всей их работы. Также применение ИТП взамен ЦТП предполагает переход на двухтрубные внутриквартальные системы доставки тепла, что способствует уменьшению протяженности распределительных сетей и, как следствие, снижению расходов на их прокладку и эксплуатацию.

Проект реализуется в рамках законов «О теплоснабжении» и «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и направлен на повышение доступности и качества теплоснабжения, что полностью соответствует энергетической политике страны [1].

И в конечном итоге вместо реконструкции ЦТП разумным решением на сегодня является полный отказ от них и переход на ИТП. Опыт показывает, что вместе с теплоизоляцией зданий, установкой радиаторных терморегуляторов и переводом потребителей на приборный учет тепла устройство ИТП позволит добиться 30–50% сокращения объемов теплопотребления.

Литература

1. **Пилипенко Н.В., Сиваков И.А.** Энергосбережение и повышение энергетической эффективности инженерных систем и сетей. Учебное пособие. — СПб: НИУ ИТМО, 2013. — 274 с.

А. С. Андреев, студ. ;
рук. А. Я. Шелгинский, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПИВОВАРЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

В работе проведен анализ энерготехнологической системы пивоваренного завода АО ПБК «Крым». На основе технологического регламента составлен тепловой баланс производства. Определен посуточный выход биогаза в течение цикла брожения. Предложены решения по использованию получаемого биогаза для выработки тепловой и электрической энергии. Проведен сравнительный анализ использования газопоршневой установка (ГПУ) и газотурбинной (ГТУ). Показана перспективность использования ГПУ. Мощность потребляемой электрической энергии предприятием составляет 1600 кВт. При сжигании получаемого биогаза в ГПУ возможно производить электроэнергию мощностью 900 кВт. Тем самым существенно сокращается электропотребление от внешнего источника, что очень актуально в настоящее время для Крыма. Кроме того вырабатывается тепловая энергия мощностью:

$$\Sigma Q_T = Q_{o.g.} + Q_{корпус} = 581 + 192 = 773 \text{ кВт}, \quad (1)$$

где $Q_{o.g.}$ — тепловую мощность отходящих газов, $Q_{корпус}$ — тепловая мощность при охлаждении теплового двигателя.

Часть тепловой мощности от ГПУ полностью покрывает тепловые нужды для биореактора, $Q_{Тр} = 203$ кВт. Остальная часть, 573 кВт, направляется на технологию получения холода в АБХМ. Максимальная мощность потребления холода предприятием составляет 2392 кВт. Необходимая тепловая мощность для выработки такой мощности холода в АБХМ при среднем коэффициенте трансформации теплоты 0,675:

$$Q_T = 2392 \text{ кВт} / 0,675 = 3543,7 \text{ кВт} \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) следует, что для покрытия всей тепловой нагрузки в установке АБХМ необходимо увеличивать тепловую мощность ГПУ, что приводит к увеличению электрической. Автором работы предлагается в биогаз добавлять природный газ для увеличения тепловой мощности продуктов сгорания.

А. В. Бакулин, асп.; А. С. Черных, асп;
И. А. Султангузин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА НОМОГРАММНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ВАЭС

В связи с современными тенденциями развития систем энергоснабжения регионов представляется актуальным регулирование неравномерности электропотребления с использованием воздушно-аккумулирующих электростанций (ВАЭС) [1]. На этапе разработки промышленных ВАЭС целесообразно использование методов математического моделирования и экспериментальных исследований. Для подбора оборудования экспериментальной установки в качестве инструмента может быть применен номограммный метод.

В основе номограммного метода лежат системы уравнений [2], описывающие процессы в компрессоре и турбине установки. К особенностям номограммного метода можно отнести простоту и наглядность зависимостей друг от друга различных параметров цикла ВАЭС экспериментальной установки (рис. 1).

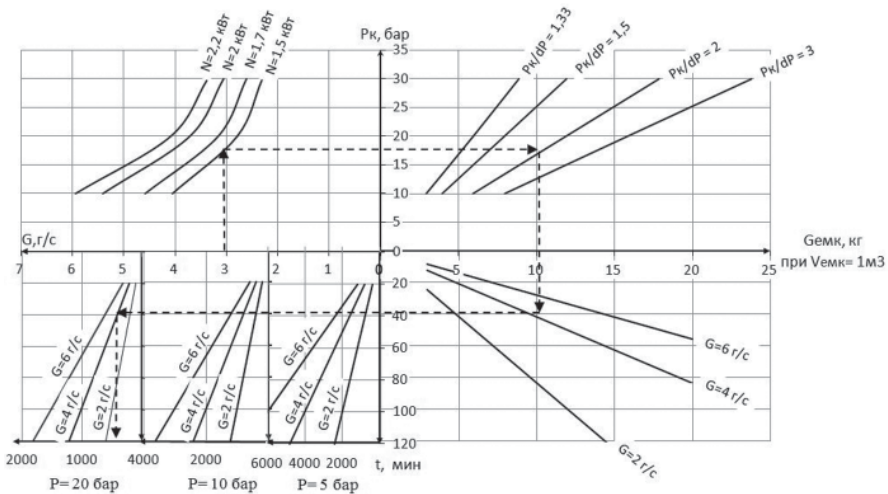


Рис. 1. Номограмма определения характеристик оборудования ВАЭС

Литература

1. Ольховский Г. Г., Казарян В. А., Столяревский А. Я. Воздушно-аккумулирующие газотурбинные электростанции (ВАГТЭ) // Москва — Ижевск, Институт компьютерных исследований, 2011. — 360 с.
2. A. Zich Thermodynamic calculation of compressor // University of Technology (TUBAF), June 2013.

А. И. Бартенев, студ.;
рук. И. А. Султангузин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АБХМ НА КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЯХ

Газовая отрасль России ежегодно расходует порядка 60 млн т у. т. на перекачку газа, что свидетельствует о высокой энергоемкости технологического процесса компримирования газа. Использование современных энергосберегающих мероприятий на компрессорных станциях может привести к существенной экономии топлива и, соответственно, уменьшению затрат на транспортировку газа.

В настоящей работе рассмотрен вариант повышения энергетической эффективности компрессорной станции (КС) магистрального газопровода. Предложено использовать АБХМ 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. Греющим источником для АБХМ может служить сухой насыщенный пар, вырабатываемый котлом-утилизатором, источником тепла для которого являются выхлопные газы ГТП, имеющие температуру порядка 500°С.

На основе анализа оборудования КС построена ее модель. С помощью модели КС произведены расчеты параметров до и после установки АБХМ. При построении моделей использовался программный комплекс Thermoflex.

Применение предложенных схем позволит экономить на одной компрессорной станции порядка 5000 т у. т. в год и даст энергосберегающий эффект в 5 млн т у. т. в год при перевооружении всей газотранспортной системы страны.

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., Шмова Т. П.** Применение прикладных программных средств для решения задач промышленной теплоэнергетики: учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2016.

С. О. Боков, студ.; рук. А. В. Волков, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

АВТОНОМНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ МИКРОГЭС

РФ обладает огромной территорией, и большое количество потребителей не имеют возможности подключения к централизованной системе энергоснабжения. Следовательно, актуальной является проблема энергообеспечения автономных потребителей. Разработка различных автономных систем является важной задачей. В качестве таких источников используются системы на основе ВИЭ, в частности системы, построенные на основе микроГЭС, обеспечивающие выработку как тепловой, так и электрической энергии [1].

Объектом исследования была выбрана метеорологическая лаборатория как автономный потребитель энергии. В среде Mathcad были произведены расчеты площадей жилой и технической зоны лаборатории, а также рассчитаны теплопотери здания. Рассчитаны потребления тепловой и электроэнергии, на основе этих результатов подобраны две гидротурбины для дискретного регулирования и увеличения ресурсоемкости созданной микроГЭС, исполненной в понтонном варианте, для предотвращения затопления близлежащих территорий. В схему были включены аккумулирующий бак и циркуляционный насос во избежание потерь энергоресурса. Так же предусмотрен аварийный режим.

Исследованиями установлено, что в самые холодные сутки зимнего месяца (январь, $T_n = -30^\circ\text{C}$) для поддержания комфортной температуры и работы всех приборов необходимо 16 кВт энергии. С требуемой мощностью на обогрев и учетом теплопотерь 7,5 кВт*ч и требуемой электрической мощности 6 кВт*ч. Рассчитана система теплоснабжения и объем бака аккумулятора, который составляет 685 литров, данного объема хватает для поддержания комфортной температуры в помещении. Произведен расчет аварийного режима который показывает, что аккумуляторной батареи емкостью 65 А хватит на поддержания нормальных условий в помещении примерно на 18 часов, для устранения аварии.

Литература

1. **Станев Б., Иванов И., Тугузова Т., Петров Н.** Нетрадиционная энергетика в энергоснабжении изолированных потребителей районов Севера / Еженедельная газета «Наука в Сибири» № 1–2 (2537–2538), 13 января 2006 г.

А. С. Борисова, В. А. Чернышова, студ.;
рук. С. В. Григорьев, ст. преп., к. т. н. (ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОР ТЕПЛОТЫ ДЛЯ СЕЗОННОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Мировые тенденции в повышении энергетической эффективности систем теплоснабжения направлены на использование природных возобновляемых источников энергии, сбросных вторичных энергоресурсов, децентрализацию поставки теплоты, а также переход на низкотемпературные отопительные системы. Кроме того, необходимо обеспечить надежность и устойчивое теплоснабжение автономных потребителей. Как правило, для аккумулирования тепловой энергии используют водяной объем (бак аккумулятора). Другим современным способом является применение теплоаккумулирующих материалов в ограждающих конструкциях зданий и сооружений. Такие ограждающие конструкции снижают количество тепловой энергии необходимой для поддержания заданной температуры в помещениях здания. Несмотря на распространенность и невысокую стоимость указанная система аккумулирования позволяет накапливать только теплоту окружающей среды, что в большинстве случаев является недостаточным для повышения эффективности теплоснабжения автономного потребителя.

Целью данной работы является анализ и разработка эффективной системы сезонного аккумулирования тепловой энергии для автономных потребителей, позволяющей аккумулировать теплоту с различным температурным уровнем от любых источников тепловой энергии.

В результате проведенного исследования для гостиницы в г. Сочи, с годовым расходом теплоты 0,5 ГВт/ч, была разработана система комбинированного теплоснабжения, состоящая из гелиоколлектора [1] и твердотельного аккумулятора тепловой энергии, включающего 12 скважин с теплообменниками типа «труба в трубе». Использование теплоизолированного объема грунта для аккумулирования тепловой энергии позволяет создать практически неограниченную по тепловой мощности систему, позволяющую накапливать теплоту с температурным потенциалом до 70°С.

Литература

1. **Алхасов А. Б., Алишаев М. Г.** Гелио-геотермальная система теплоснабжения коттеджного дома // Известия Академии наук. № 6. 2011. С. 122–132.

П. Н. Борисова, асп.;
рук. В. С. Агабабов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДГА НА СТАНЦИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УМЕНЬШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Применение детандер-генераторного агрегата на станции технологического уменьшения давления транспортируемого природного газа взамен традиционно используемого дросселирующего устройства термодинамически более эффективно. Данный вывод был получен в результате термодинамического анализа узла понижения давления газа с дросселирующим устройством и с ДГА. В качестве критерия был принят эксергетический КПД [1]. Исследование проводилось для переменных параметров: давление газа на входе и выходе, температура газа на входе.

Были построены сравнительные графики, представленные ниже. На рис. 1 представлена зависимость эксергетического КПД узла для разных схем при равном значении отношения давлений газа на выходе и входе от температуры потока газа на входе в узел. На рис. 2 представлен график изменения эксергетического КПД узла для разных схем при одинаковой температуре газа на входе в зависимости от значения отношения давлений газа на выходе и входе узла.

Таким образом, полученные результаты доказывают преимущество использования ДГА на станциях уменьшения давления газа по сравнению с дросселирующим устройством с точки зрения термодинамической эффективности. В каждом конкретном случае целесообразность применения ДГА должна быть обоснована технико-экономической оценкой.

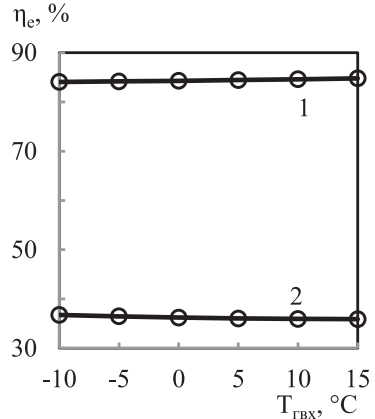


Рис. 1. График функции $\eta_\epsilon = f(T_{Г.ВХ})$
1 — ДГА; 2 — Дроссель

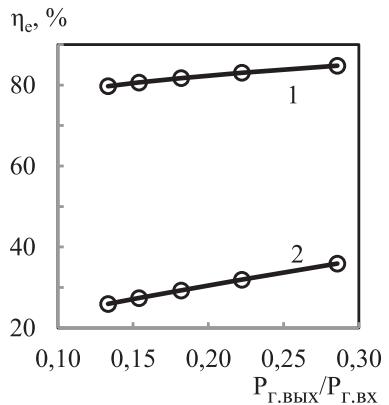


Рис. 2. График функции $\eta_\epsilon = f(P_{Г.ВЫХ}/P_{Г.ВХ})$
1 — ДГА; 2 — Дроссель

Литература

1. Бродянский В. М. Эксергетический метод термодинамического анализа. М.: Энергия, 1973.

О. А. Чехранова, студент; рук. Е. Г. Гашо, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИОРИТЕТЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ЗДАНИЙ И МИКРОРАЙОНОВ

Современный мегаполис представляет собой сложную энергосистему.

Требования к системе энергоснабжения мегаполиса определяются тремя главными условиями: обеспечение энергетической безопасности; инфраструктурное стимулирование комплексного развития территории; расширение состава и повышение качества энергетических услуг. Примером города с большим потреблением является Москва. Практически половина потребления энергии в развитых странах приходится на жилые дома. Поэтому одним из основных методов ресурсосбережения становится улучшение энергоэффективности зданий. Основной принцип проектирования энергоэффективного дома — поддержание комфортной внутренней температуры без применения систем отопления и вентиляции за счет максимальной герметизации здания и использования альтернативных источников энергии. [1] Критерием для классификации таких домов является энергопотребление: если затраты на отопление помещений в год составляют менее 90 кВтч/м^2 — дом считается энергоэффективным; менее 45 кВтч/м^2 — энергопассивным; менее 15 кВт ч/м^2 — нулевого энергопотребления (на отопление ничего не тратится, но требуется энергия для подготовки горячей воды). Чтобы создать действительно умный город необходимо начинать с элементарных единиц города-дома, микро-районы. В 2017 департамент информационных технологий Москвы провел конкурс на проектирование умного квартала в Люблино.

Была проведена разработка решений по следующим направлениям: повышение энергоэффективности, контроль и учет потребления ресурсов, безопасность и диспетчеризация, экология и комфорт, инфраструктура и коммуникации. В работе предложены методы для повышения энергоэффективности: предусмотрено внедрение «умных» систем отопления и «умных» систем освещения мест общего пользования, которые в свою очередь дали до 30% экономии тепловой энергии и до 30% экономии электрической энергии соответственно, одним из главных шагов по достижению энергоэффективности был в использование оконных энергосберегающих пленок, что привело к снижению потерь тепла через стекла в зимний период до 30%, а также позволяет поддерживать комфортный уровень температур в помещениях без использования кондиционеров летом.

Литература

1. **Гашо Е. Г.** — Решение задачи энергосбережения в России: некоторые итоги и мифы // «Энергосбережение», 2017 г.

Черных А. С., асп. (НИУ «МЭИ»); Карасевич В. А., к. т. н., доц. (НИУ «РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина»); Бакулин А. В., асп. (НИУ «МЭИ»), рук. И. А. Султангузин, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ РОТОРНОГО ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПОДОГРЕВА ГАЗА В СИСТЕМЕ РЕЗЕРВНОГО ГАЗОСНАБЖЕНИЯ КОТЕЛЬНОЙ КОМПРИМИРОВАННЫМ ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ

Аварии и перебои в газоснабжении котельных и тепловых станций при резком понижении температуры окружающего воздуха в отопительный период являются одной из главных проблем теплогенерирующих компаний, поскольку это приводит к тяжелым последствиям — «размораживанию» тепловых сетей и прекращению подачи тепла и горячей воды населению. Резервное топливное хозяйство (РТХ) газовых котельных и тепловых станций, традиционно представляющее собой запасы жидкого топлива (мазут, дизель) и угля, по ряду причин далеко не всегда способно оперативно обеспечить режим аварийного теплоснабжения.

Предлагаемая схема резервного газоснабжения котельной компримированным природным газом (КПГ), хранящимся в баллонах с избыточным давлением 250 кгс/см^2 (24,5 МПа), предусматривает его двухступенчатое редуцирование до расчетного давления котельной (как правило — 3–4 кгс/см^2 (0,3–0,4 МПа)). В первой ступени давление газа посредством редуктора снижается до 1,2 МПа, во второй — посредством регулятора давления и параллельно включенного ему в байпас роторного детандер-генераторного агрегата (ДГА), — до 0,3–0,4 МПа. Расход газа при этом может варьироваться в диапазоне от 337 до 90 $\text{м}^3/\text{ч}$, что соответствует теплопроизводительности котельной от 2,5 до 0,7 Гкал/ч и позволяет поддерживать теплоснабжение объектов как в режиме номинальной тепловой нагрузки, так и в аварийном режиме при условии недопущения «размораживания» тепловых сетей. Энергия, вырабатываемая ДГА [1], расходуется на подогрев газа в первой ступени редуцирования, а также для функционирования вспомогательного оборудования. Преимущество данного решения — обеспечение резервного газоснабжения котельной в полностью автономном режиме, не требующее наличие дополнительных горелочных устройств и перенастройки теплогенерирующего оборудования.

Литература

1. **Черных А. С., Карасевич В. А., Яковлев А. А. и др.** Повышение эффективности электроснабжения технологических объектов системы газораспределения за счет применения автономных источников электроэнергии на базе детандерных электроагрегатов с роторным и шестеренным приводом // Наука и техника в газовой промышленности. — 2016. — № 1. — С. 87–90.

В. А. Чернышова, А. С. Борисова, студ.;
рук. С. В. Григорьев, ст. преп., к. т. н. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУТОЧНЫХ СИСТЕМ АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

В настоящее время все больше внимания уделяется созданию энергоэффективных зданий и обеспечению надежного и устойчивого теплоснабжения автономных потребителей в зимний период.

В работе предлагается использовать аккумулятор теплоты на фазовом переходе и льдоаккумулятор холода для повышения энергоэффективности жилого здания. Использование теплоты фазового перехода для аккумулирования тепловой энергии обеспечивает высокую плотность запасаемой энергии при использовании небольших перепадов температур теплоносителя и достаточно стабильную температуру на выходе из теплового аккумулятора [1].

Целью работы является разработка схемы аккумулирования тепловой энергии и холода для нужд автономного потребителя, а так же проведение расчетно-параметрического исследования и выбор режимных параметров системы аккумулирования, обеспечивающих ее наибольшую эффективность.

На основе проведенного анализа нормативно-технической литературы наиболее перспективными системами суточного аккумулирования для автономных потребителей являются аккумулятор теплоты на фазовом переходе [2]. В настоящее время данное решение будет актуальным для удаленного потребителя тепловой энергии.

На основании анализа математической модели описано фазовое превращение теплоты и определена энергоэффективность. В сутки объем парафина для плавления на одни сутки в фазовом тепловом аккумуляторе составляет 11,4 м³. В летнее время используем аккумулятор холода для кондиционирования коттеджа в системе «холодные потолки».

Литература

1. **Panchal H. N.** Use of thermal energy storage materials for enhancement in distillate output of solar still: A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, № 61, 2016. P.: 86–96 с.
2. **Спицын И. А., Орехов А. А., Чушкин М. В.** Тепловой аккумулятор фазового перехода. УДК621.85.629.114.2.02 / *Вестник ФГЩУ ВПО МГАУ № 2'2008/*. P.: 50–52 с.

М. Р. Дасаев, асп.; рук. А. В. Волков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ГИДРОФОБИЗАЦИЯ ЛАТУННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В последнее десятилетие во многих странах активно ведется разработка супергидрофобных материалов и покрытий. Связано это с тем, что гидрофобные поверхности обладают рядом уникальных характеристик и используются для снижения гидравлического сопротивления, интенсификации теплообменных процессов и т. д.

Наиболее перспективным методом гидрофобизации поверхностей различных конструкционных материалов является модификация поверхности с использованием фемто-/нано-секундных лазеров. Достоинства этого метода связаны с потенциально высокими скоростями создания, низким количеством отходов и одностадийностью обработки.

За счет гибкого варьирования параметров лазерного излучения (мощность, частота, скорость сканирования) возможно получение разномасштабного упорядоченного рельефа (рис. 1) с различными геометрическими параметрами его текстуры.

В целях определения влияния параметров лазерного излучения на свойства смачивания модифицированной поверхности был проведен эксперимент на образцах из латуни марки Л63. В ходе эксперимента при постоянной мощности лазерного излучения 20 Вт и частоте 20 кГц варьировалась линейная скорость перемещения лазерного луча по латунной поверхности в диапазоне от 50 до 1500 мм/с.

В результате получена зависимость влияния скорости сканирования на угол смачивания модифицированной поверхности (рис. 2).

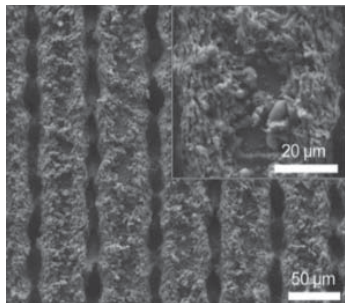


Рис. 1. Изображение текстурированной поверхности с использованием лазера, полученное с электронного микроскопа

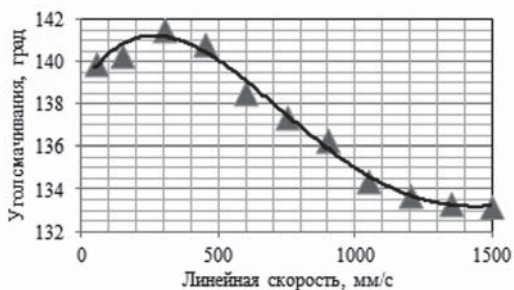


Рис. 2. Зависимость влияния линейной скорости прохождения луча при мощности 20 Вт и частоте 20 кГц на угол смачивания модифицированной поверхности образца

Как видно из зависимости, поверхность с наилучшими водоотталкивающими свойствами (краевой угол смачивания — $141,6^\circ$, угол скатывания — $8,4^\circ$) была получена при скорости прохождения лазерного луча по поверхности 300 мм/с.

Е. М. Федорова, студ.;
рук. Е. Н. Олейникова, ст. преп., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА ЗА СЧЕТ СОВМЕЩЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ

Развитие мировой промышленной индустрии требует все больших затрат первичных энергоносителей, к которым относятся ископаемое топливо и возобновляемые источники энергии. В этой связи вопросы повышения эффективности использования ТЭР становятся особо актуальными. Проведенные в последние годы исследования показали [1–2], что одним из возможных путей повышения эффективности преобразования энергии топлива является создание технологий совмещенной генерации энергоносителей различных видов. Так, в мировой энергетике, в первую очередь в России, широкое распространение получили теплофикационные турбоагрегаты, одновременно производящие электроэнергию и тепло, что оказывается более эффективным, чем раздельное производство электроэнергии на турбоагрегатах конденсационного типа и тепла в котельных.

Дальнейшее развитие получили в настоящее время исследования эффективности совмещенной генерации совместно с электроэнергией и теплом и других произведенных энергоносителей, таких, как холод, водород, продукты разделения воздуха и т. п.

Одним из энергоносителей, которые могут производиться на объектах генерации, является сжиженный природный газ (СПГ). Проведенный обзор литературы показал, что для генерации сжиженного газа в настоящее время применяются установки, реализующие циклы четырех типов: а) дроссельный цикл высокого давления; б) азотный детандерный цикл внешнего охлаждения; в) смесицикловый цикл внешнего охлаждения; г) цикл среднего давления с детандером.

Применение установки сжижения природного газа на объекте генерации позволяет не только генерировать востребованный промышленностью произведенный энергоноситель, но также повышать эффективность работы основного оборудования объекта генерации за счет обеспечения его работы в номинальном режиме при сезонных и ночных провалах потребной электрической мощности.

Литература

1. **Mancarella, P.** MES (multi-energy systems): An overview of concepts and evaluation models / P. Mancarella // *Energy*. — 2014. — № 65.
2. **Клименко А. В.** Разработка и исследование схем высокоэффективных парогазовых ТЭС с системой одновременного производства тепла и холода с использованием низкопотенциальной теплоты: отчет о НИР. Москва: ВТИ, 2013.

*В. О. Гакинульян студент;
рук. В. Б. Тупов, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

СНИЖЕНИЕ ШУМА ОТ РТС РАСПОЛОЖЕННЫХ ВБЛИЗИ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ

Районные тепловые станции (РТС) расположены в 50–100 м от жилой застройки, являясь причиной превышения санитарных норм по шуму в окружающем районе. К снижению негативного воздействия предписывают санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [1], устанавливающие допустимые уровни шума на рабочих местах и территории жилой застройки. Также шум от энергетического оборудования РТС становится ограничивающим фактором для расширения станции. По этим причинам следует уделить внимание методам снижения шума в комплексе решения экологических задач. Особенно это актуально для крупных промышленных городов с развитой системой централизованного теплоснабжения, предприятия которой расположены в непосредственной близости к селитебной территории.

На районных и квартальных тепловых станциях (РТС и КТС) и на теплоэлектроцентралях наиболее часто используются водогрейные котлы типа ПТВМ (ПТВМ-50, ПТВМ-100). Основным источником шума от этих котлов является шум, излучаемый от срезов дымовых труб, а также шум от воздухозаборов [2]. Расчеты показывают, что излучение шума от котлов ПТВМ зависит от конструкции горелок и их производительности. Поэтому модернизация и использование более совершенных котлов позволяет снизить размер санитарно-защитной зоны. В условиях активного строительства жилых кварталов и расширение городов, данная проблема особенно актуальна.

Основным способом глушения шума для данных котлов является глушители, которые могут установлены в верхней части котла или в нижней части дымовой трубе [2–3]. Выполнены акустические и аэродинамические расчеты глушителей. Произведена визуализация акустических расчетов в программе Predictor для окружающего района для РТС с разным количеством котлов.

Литература

1. **СН 2.2.4/2.1.8.562-96.** Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
2. **В. Б. Тупов.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду // МЭИ 2012 г.
3. **Тупов В. Б., Семин С. А., Тараторин А. А., Тупов Б. В.** Комплексное снижение шума от котельных малой мощности // Промышленная энергетика, 2015, № 5, С. 61–65

*М. И. Гнутикова, студент;
рук. Д. И. Пащенко, к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННОГО ТРУБОПРОВОДА В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ ANSYS FLUENT

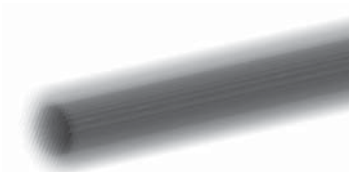


Рис. 1. Контур распределения температуры по длине трубопровода

В России проблема энергосбережения весьма актуальна, поскольку существенная часть энергии расходуется на отопление и горячее водоснабжение. Значительная доля тепловой энергии теряется при передаче тепла потребителю через трубопровод [1]. Решить данную проблему можно при условии современной и качественной тепловой изоляции. Развитие современных способов численного моделирования задач вычислительной гидродинамики (CFD-моделирование) существенно упрощает решение данной проблемы. CFD-моделирование — доступный и дешевый метод проведения различных исследований, позволяющей решать задачи различной сложности, получать детальную и наглядную информацию об исследуемых процессах.

Целью данной работы является построение математической модели трубопровода с теплоизоляцией и численное исследование его характеристик в программном продукте ANSYS Fluent, для изучения эффективности использования такого теплоизоляционного материала как фенольная пена.

В ходе данной работы получены контуры распределения температуры трубопровода с теплоизоляцией (Рис. 1), которые показывают эффективность данного изолирующего материала. С помощью разработанной модели можно получать достоверные сведения о характеристиках теплоизолированных трубопроводов различных конструкций с различной тепловой изоляцией. Полученные с помощью модели данные имеют хорошую сходимость с результатами эксперимента.

Литература

1. **Исаченко В. П. и др.** Теплопередача: учебник для вузов / ООО «ТИД «Арис», 2014. — 416 с.

*Г. А. Гончаров, студент;
рук. Ю. В. Яворовский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СРАВНЕНИЕ ЗАВИСИМОЙ И НЕЗАВИСИМОЙ СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО ПУНКТА К ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Известно, что режимы работы теплового пункта определяют экономичность использования подаваемой потребителю теплоты. Схемы и оборудование тепловых пунктов необходимо определять в соответствии с тепловыми нагрузками, техническими характеристиками местных систем теплоснабжения и гидравлическими режимами внешней тепловой сети.

В данной работе проведено сравнение технико-экономических показателей зависимой и независимой схем подключения теплового пункта жилого здания серии П-68-02 к тепловой сети.

В работе определены расчетные тепловые нагрузки потребителя, проведен гидравлический расчет вариантов индивидуальных тепловых пунктов (ИТП), подключенных по зависимой и независимой схемам, подобрано оборудование, проведен экономический анализ показателей рассмотренных вариантов ИТП.

Расчетная тепловая нагрузка на отопление составила 1300 кВт, максимальная тепловая нагрузка на ГВС составила 676,5 кВт.

Согласно проведенной оценке, общая стоимость оборудования ИТП, подключенного по зависимой схеме составила 1 082 000 рублей, по независимой схеме — 1 616 000 рублей. Таким образом, величина капиталовложений во втором варианте больше на 45%.

При использовании зависимой схемы стоимость электроэнергии на привод смесительного насоса в течение срока эксплуатации теплового пункта составит 1 527 000 рублей, а при независимом подключении — 4 164 000 рублей, что в два с половиной раза больше, чем при зависимом подключении.

По итогам проведенных расчетов оказалось, что зависимая схема как по капитальным, так и по эксплуатационным затратам является привлекательнее. Кроме того, современные автоматизированные схемы с зависимым подключением могут обеспечивать необходимое качество регулирования тепловых нагрузок потребителя. Однако в некоторых случаях их применение оказывается ограниченным гидравлическими режимами тепловой сети.

Литература

1. **Соколов Е. Я.** Теплофикация и тепловые сети. М.: Издательство МЭИ, 2001. — 472 с.

П. А. Илющенко, студ.; рук. А. В. Волков, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦТП НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗБЫТОЧНОГО МАГИСТРАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Повышение надежности и экономичности при работе центрального теплового пункта (ЦТП), а также создание аварийного источника электроэнергии на ЦТП является актуальной технической проблемой.

В работе рассматривался вопрос использования, традиционно теряемых, потерь избыточного магистрального давления. Для решения этой задачи была применена система рекуперации давления (СРД), подключенная по независимой схеме на ЦТП [1]. Произведено исследование работы СРД при разных нагрузках и сезонных особенностях функционирования ЦТП. В среде Mathcad был произведен расчет работы СРД в качестве аварийного источника электроэнергии на ЦТП при различных температурах окружающей среды. Оценено влияние данной системы на температуру воздуха в помещении при низких наружных температурах, а также приведено изменение температуры в помещении без использования СРД.

Установлено, что при использовании СРД вырабатываемой электроэнергии хватит на 10–20% от необходимой на собственные нужды характерной ЦТП. Это позволит снизить затраты на электроэнергию и повысить эффективность эксплуатации ЦТП. Полученная температурная зависимость, из расчетов аварийного режима работы СРД, показывает, что в самом неблагоприятном случае, при минимальной мощности турбины, циркуляция теплоносителя обеспечивает сохранение температуры воздуха в здании на уровне 8–10°C в течении 42 часов, что позволит провести ремонт без опасности размораживания системы отопления здания.

Применение СРД в качестве источника аварийного электроснабжения актуально для многих ЦТП, так как, при самых низких наружных температурах СРД способна вырабатывать электроэнергию для аварийного циркуляционного насоса, который в течении длительного времени сможет поддерживать циркуляцию теплоносителя в системе, а также для бесперебойной работы системы аварийного освещения, что повысит эффективность ремонтных и восстановительных работ.

Литература

1. **Волков А. В.** Получение электрической энергии в системах тепло- и водоснабжения на основе рекуперации избыточного магистрального давления / Волков А. В., Рыженков В. А., Парыгин А. Г., Щербаков С. Н. / *Новости теплоснабжения.* — 2007 — № 10. — С. 46–50.

Т. С. Иванова, студ.; рук. А. В. Рыженков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА

В настоящее время одним из перспективных путей повышения экономичности энергетических установок является совершенствование теплообменного оборудования с использованием внедрения эффективных способов интенсификации теплообмена. Большинство известных методов имеет ряд значительных недостатков, которые ограничивают их применение. Так для традиционных методов, с точки зрения термодинамики [1], главным недостатком является их низкая эффективность, а для альтернативных — большой рост гидравлических сопротивлений в сравнении с ростом теплового потока теплообменного аппарата [2].

Задачей исследования становится анализ применения современного способа интенсификации теплообмена, в основе которого лежит создание микрорельефа на функциональных поверхностях теплообменного оборудования.

С целью изучения влияния микрорельефа на интенсивность теплообменных процессов был создан экспериментальный стенд. На основе проведения эксперимента планируется получить зависимости теплового потока (1, 2) и гидравлических сопротивлений (3) двух режимов (базовый режим и режим с нанесением микрорельефа на функциональные поверхности теплообменного аппарата):

$$Q=f(t_r, t_x), \quad (1)$$

$$Q=f(G_r, G_x), \quad (2)$$

$$\Delta P=f(G_r, G_x), \quad (3)$$

где t_r — температура горячего теплоносителя, принимается 30, 50 и 70°C; t_x — температура холодного теплоносителя, °C; G_r, G_x — расходы горячего и холодного, соответственно, теплоносителей, принимаются исходя из условия $Re > 10000$ (турбулентный режим течения).

По результатам исследования будет проведен анализ режимов работы теплообменного аппарата с заключением эффективности данного метода.

Литература

1. **Лукин М. В.** Повышение эффективности систем транспортировки, распределения и потребления тепла / М. В. Лукин, А. В. Рыженков Е. А. Сухова, Г. П. Хованов // Академия энергетики. — 2010. № 5 (37). С. 20–25.
2. **Рыженкова Н. В.** Влияние гидрофилизации функциональных поверхностей на энергоэффективность теплообменного оборудования // Дис. на соискание учен. степени канд. тех. наук, Москва — 2015 — С. 37, 43.

Е. А. Калинец, студ.: рук. А. Ф. Прищепов, доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОСТРОМСКОЙ ГРЭС

Все шире находит применение парогазовая технология, на основе которой формируются парогазовые установки (ПГУ), где в надстроенной части применяется газовая турбина, отработавшие газы которой, из-за наличия в них достаточного количества неиспользованного в камере сгорания кислорода, подаются в топку котла-утилизатора (КУ) для генерации водяного пара. Это позволяет повысить экономичность и улучшить экологические показатели ТЭС.

С целью повышения мощности и КПД, а также снижения удельного расхода условного топлива на отпущенную электроэнергию на Костромской ГРЭС была проведена модернизация блока 300 МВт надстройкой ГТД-110 производства «Сатурн».

При реализации ПГУ одной из главных задач является согласование расхода выхлопных газов ГТУ и максимального допустимого расхода газов через котел. Роль КУ выполняет паровой котел ТГМП-314.

Необходимо увеличение начальной температуры газов перед газовой турбиной при умеренном росте степени повышения давления воздуха в компрессоре. Температура может достигать 620°C.

Проект модернизации КГРЭС нацелен на удовлетворение возросшего спроса на электроэнергию в регионе, повышение конкурентоспособности станции на рынке, увеличение прибыли за счет улучшения экономичности работы и увеличения отпуска электроэнергии.

Для ПГУ сбросного типа с ПТУ типа К-300-240, энергетической ГТУ и газомазутным паровым котлом выполнен расчет при зимнем режиме с температурой наружного воздуха 15°C и получены показатели тепловой экономичности при нормальной нагрузке.

Проведенные мною расчеты показали, что техническое перевооружение на базе современных технологий позволит улучшить технико-экономические показатели станции, а именно:

- увеличить установленную мощность на 110 МВт;
- снизить удельный расход условного топлива на отпущенную электроэнергию до 0,19 кг/кВт*ч;
- увеличить электрический КПД блока с 39,4 до 44,05%.

*М. В. Каплин, студ.;
рук. М. А. Федин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМОМАТОВ

В настоящее время актуален вопрос строительства новых сооружений, как жилищного, так и производственного характера. При использовании в строительстве бетона, особое внимание уделяется прочности и долговечности материала, а значит — технологии изготовления. После формовки и заливки железобетонного изделия (далее ЖБИ), важно поддерживать температурный режим, не допуская охлаждения ЖБИ.

Для сохранения нормального температурного режима сегодня используется несколько методов, такие как индукционный нагрев, обогрев нагревательными проводами, пропаривание. Но все эти методы используются в основном в холодное время года, чтобы предотвратить разрушение бетона в следствие кристаллизации воды внутри ЖБИ [1].

В обычных условиях процесс сушки (затвердевание) ЖБИ занимает 14–18 часов, в связи с чем появляется задача ускорить процесс сушки, не теряя при этом качества материала.

Для решения этой задачи было предложено использовать термоматы, представляющие собой кожух, внутри которого закреплены нагревательный кабель и слой теплоизоляции. После проведения испытаний, выяснено, что благодаря термоматам удастся достичь равномерного прогрева изделия на протяжении всего процесса сушки (рис. 1), что положительно влияет на интегральную механическую прочность и, как следствие, надежность ЖБИ.

В работе проведен тепловой расчет системы обогрева ЖБИ. Проведено исследование влияния температурного режима на скорость затвердевания бетона, которое показало, что использование термомата позволяет достигнуть требуемой твердости за 8–12 часов, что подтверждает гипотезу о возможности снижения продолжительности производственного цикла изготовления железобетонного изделия при использовании термомата.

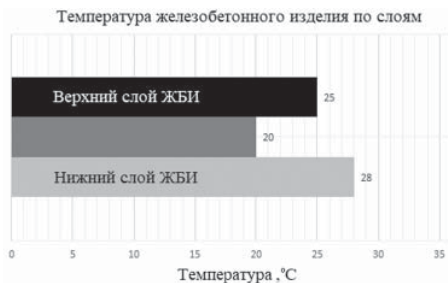


Рис. 1. Распределение температур внутри ЖБИ

Литература

1. Алимов Л. А. Технология строительных изделий и конструкций. Бетонovedение. М: Издательский центр «Академия», 2010.

*А. Д. Карандашев, студент;
рук. С. В. Григорьев к.т.н., с.н.с. (НИУ МЭИ, Москва)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОСКВАЖИННОЙ СИСТЕМЫ СЪЕМА ТЕПЛОТЫ ЗЕМЛИ В ANSYS

Задача состоит в моделировании процесса съема теплоты Земли. Это так называемая геотермальная энергия, которая считается возобновляемой [1]. Для ее извлечения используют теплообменник типа «труба в трубе», размещенный в скважине. Имея небольшое отношение длины к диаметру и большую протяженность, он представляет сложность в моделировании.

Для решения задачи был выбран программный комплекс Ansys. Определены этапы моделирования: построение геометрической модели, наложение на нее расчетной сетки, задание начальных и граничных условий, получение результата.

С точки зрения твердотельной геометрии, модель представляет собой систему из цилиндров с диаметрами от 8 до 22 мм. Для уменьшения количества расчетных ячеек сетки представляем систему как тонкий прямоугольный срез. В случае наименьшего диаметра, такое приближение дает ошибку в определении площади 0.17%, в случае наибольшего диаметра в 0.03%.

Для наложения расчетной сетки используем встроенный сеточный генератор Ansys ICEM. Варьируя параметры сетки, получаем оптимальное количество элементов: порядка 240 000 штук.

В подпрограмме Ansys CFX задаемся начальными и граничными условиями. Материалы внутренней трубы ПВХ, внешней трубы сталь. Теплоноситель вода с моделью турбулентности SST. Начальную температуру всех тел выбираем 30 °С. Для нагрева поверхности задаем геотермический градиент 5 °С/100 м.

После задания условий и постановки модели на расчет были получены результаты в программе постобработки CFD-Post.

Особенностью системы являлась большая длина и малый диаметр труб. В силу этого необходимо уменьшить количество затраченных расчетных ресурсов. Взяв для анализа прямоугольный срез трубы можно уменьшить количество расчетных ячеек сетки, а выбрав метод наложения сетки, оптимизировать их.

Литература

1. **Алхасов А. Б.** Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. М.: ФИЗМАЛИТ, 2008.

*Л. А. Кашипова, аспирант;
рук. Л. В. Плотникова к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

СИСТЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СХЕМ РЕКУПЕРАЦИИ ВЭР

Вопрос организации оптимальных структур промышленных предприятий с включением систем выработки дополнительной тепловой энергии из вторичной является актуальным. Для организации промышленных теплоэнергетических систем с оборудованием, утилизирующим вторичные энергоресурсы (ВЭР), предлагается использовать системный анализ, базирующийся на структурном анализе и анализе термодинамической эффективности [1].

Системный анализ позволяет исключить многочисленные итерации при расчете схем, определить наилучшую последовательность расчета схемы с целью дальнейшего выбора эффективных энергосберегающих мероприятий в виде систем рекуперации ВЭР. Для выполнения структурного анализа теплоэнергетических систем разработано программное обеспечение (ПО) на языке C# 5.0 в среде программирования Microsoft Visual Studio 2015 [2], с использованием которого проведены структурный анализ нефтехимического, химического, целлюлозно-бумажного производств с резервами энергосбережения.

На этапе термодинамического анализа проводится оценка производства с определением мест с наибольшими тепловыми и эксергетическими потерями, выявляется эффективный вариант аппаратного оформления системы рекуперации ВЭР. Модуль термодинамического анализа добавляется в разрабатываемое ПО системного моделирования, где производится расчет системы в соответствии с определенной на этапе структурного анализа последовательностью, осуществляется оценка системы с включением утилизационного оборудования.

Реализация структурного и термодинамического анализа в едином программном продукте позволяет рассчитать все возможные варианты систем рекуперации ВЭР на промышленном объекте, оценить влияние различных параметров на эффективность модернизированной системы, скорректировать критерии выбора системы рекуперации ВЭР.

Литература

1. Назмеев Ю. Г., Коначина И. А. Организация энерготехнологических комплексов в нефтехимической промышленности. — М.: Издательство МЭИ, 2001.
2. Плотникова Л. В., Звегинцев А. А., Кашипова Л. А., Ишмуратов Р. А., Нуриев Н. К. Программная реализация системного анализа сложноструктурированной химико-технологической схемы нефтехимического производства // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 8.

*Е. В. Храмова, студент;
рук. Л. В. Плотникова, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

УТИЛИЗАЦИЯ СБРОСНОЙ ЭНЕРГИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

В связи с ростом цен на энергоносители в России с конца XX-го века началось широкое применение теплонасосных установок (ТНУ), принцип работы которых основан на трансформации теплоты от низкотемпературных источников к высокотемпературным потребителям теплоты за счет фазовых превращений рабочих веществ, в частности, за счет сжатия рабочего вещества в компрессоре. На привод компрессора затрачивается электрическая энергия, поэтому при оценке эффективности применения ТНУ следует учитывать отношение полезной теплоты, полученной в конденсаторе, к работе, затраченной на сжатие (коэффициент трансформации). ТНУ эффективна, если коэффициент трансформации составляет 3 и более. Следующий фактор, определяющий целесообразность использования ТНУ, это наличие источника теплоты с подходящей температурой и расходом сбрасываемого потока [1].

В результате анализа возможности внедрения ТНУ в теплоэнергетические системы различных отраслей промышленности, в схемы тепловых электростанций, в системы теплоснабжения зданий выявлено, что использование ТНУ наиболее целесообразно на промышленных предприятиях [2]. Это обусловлено наличием значительного количества сбросных потоков энергии в виде теплоты сточных вод, теплоты отработанного воздуха сушильных установок [2], теплоты полупродуктов потребителя получаемой в ТНУ высокопотенциальной энергии непосредственно в технологических процессах. Требуемая в технологии энергия, которую может разделять установка [3] и т. п., а также наличием обеспечить ТНУ, не зависит от температуры окружающей среды и неизменна в течение года, что не приводит к удорожанию конструкции ТНУ в связи с отсутствием необходимости создания сложной системы автоматизированного управления установкой.

Литература

1. **Гетман В. В.** Применение теплонасосных установок для утилизации теплоты вторичных энергетических ресурсов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 9.
2. **Плотникова Л. В., Карабаев А. Ю., Чиликова И. И., Абкадыров А. Р.** Энергосберегающий комплекс сушильного участка производства молока на основе теплонасосной установки // Инженерный вестник Дона. 2016. Т. 43.
3. **Красавина Е. О., Плотникова Л. В.** Энергосберегающий тепловой насос в системах промышленного разделения веществ // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2016. № 4 (32).

*А. И. Киселева, ассистент; рук. А. М. Фокин, ст. пр.;
(филиал МЭИ г. Смоленске) А. В. Кулаев, управляющий директор
филиала ПАО «Квадра» — «Смоленская генерация»*

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПАРОПРОВОДОВ В НЕПРОЕКТНЫХ РЕЖИМАХ

Снижение уровня промышленного потребления пара является известным фактом и серьезной проблемой тепловых электростанций, поскольку это делает проблематичной полноценную загрузку турбин, спроектированных специально для этих целей. Столь же серьезно проблема стоит и для владельцев сетевых паропроводов, т. к. транспортировка малых расходов пара через большие проходные сечения существующих паропроводов весьма убыточна, и приводит к значительным потерям пара и конденсата.

На данный момент для таких теплопроводов, работающих в непроектных режимах, имеет место тенденция сверхнормативного роста потерь тепла и теплоносителя, что приводит к невыполнению паропроводом своих функций и нарушению технологии производства у потребителей. Несмотря на малые расходы и неудовлетворительный уход за теплоизоляцией, аварий на таких паропроводах не происходит. С другой стороны, снижение теплопотребления пара по сравнению с проектным режимом вызывает резкое увеличение удельных потерь тепла, связанных с уменьшением скорости теплоносителя. Это связано с тем, что при меньшей скорости движения, пар находится в трубопроводе большее время и в связи с этим количество теплоты, отводимое в окружающую среду через теплоизоляцию, возрастает. Потери в таких непроектных режимах работы могут достигать до 60%. Для компенсации тепловых потерь при непроектном режиме требуется увеличение отпуска пара в размере 40–50%, что в свою очередь, негативно сказывается как на ТСК, так и на потребителях, которые вынуждены оплачивать за «переотпуск» пара.

Возможность эксплуатации таких систем, работающих в непроектных режимах, требует дальнейших исследований. При невыполнении заданных параметров и превышении допустимых потерь [1], стоит рассматривать вопрос о прекращении эксплуатации таких систем.

Литература

1. Приказ министерство энергетики РФ от 30 декабря 2008 года № 325 «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работ по утверждению нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии».

М. С. Константинова, студ.;
рук. А. Я. Шелгинский, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК И ТЕПЛОВЫХ ТРУБ

При использовании ТНУ в системах теплоснабжения возможна существенная экономия электроэнергии на привод насосов для подачи теплоносителя от источника низкопотенциальной теплоты (ИНТ) к испарителю ТНУ [1, 2, 3]. Рассматривается возможность исключения этих затрат путем их замены на работу гравитационных сил, т.е. использования гравитационных замкнутых испарительно-конденсационных систем, работающих по принципу гладкостенных тепловых труб (термосифонов) [1].

Разработанная математическая модель комплекса ТНУ-ТТ и алгоритм ее решения позволяют определять необходимые теплотехнические характеристики всех элементов и комплекса в целом.

В данной работе на примере производственного помещения, расположенного в г. Казань:

- определены параметры работы системы в характерных точках цикла установки совместной работы ТТ-ТНУ;
- рассчитаны теплообменные узлы комплекса ТТ-ТНУ.

Для сравнительного анализа проведен расчет энергозатрат при подаче теплоты от ИНТ к испарителю ТНУ с использованием электронасоса для перекачки промежуточного теплоносителя. Дополнительные затраты в системе ГВС составили 90438 руб/год при тепловой нагрузке 17,19 кВт, т.е. стоимость передаваемого теплового потока возросла на 5261 руб/(кВт-год).

Литература

1. Шелгинский А. Я. Тепловые трубы в системах теплоснабжения и утилизации ВЭР // Учебное пособие, 2006 г.
2. Данилов О. Л., Гаряев А. Б., Яковлев И. В., Клименко А. В., Вакулко А. Г. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях // Учебник, 2011 г.
3. Фролов В. П., Щербakov С. Н., Фролов М. В., Шелгинский А. Я. Анализ эффективности использования тепловых насосов в централизованных системах горячего водоснабжения // Энергосбережение. 2004. № 2. С. 50–53.

А. Ю. Кривенкова, студ.; рук. А. Ф. Прищепов, доц. (НИУ «МЭИ»)

СТРОИТЕЛЬСТВО ПЛАВАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА РЫБОЛОВНОЙ БАЗЕ В АСТРАХАНИ, РАБОТАЮЩИХ ЗА СЧЕТ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Сегодня у всех на слуху понятие альтернативной энергетики. Запасы нефти, газа и других видов топлива на Земле не безграничны, поэтому ученые и инженеры продолжают искать возможности эффективного применения возобновляемых ресурсов. На сегодняшний день дома на воде становятся все более популярным туристическим развлечением в России. В работе рассматривается вопрос строительства плавающих конструкций на рыболовной базе в городе Астрахань, работающих за счет возобновляемых источников энергии.

В работе был произведен расчет потребности дома в электрической энергии, расчет тепловой нагрузки системы отопления здания и расчет системы водоснабжения.

На основании расчетов было выбрано оборудование для системы энергоснабжения дома. Источниками электроэнергии были выбраны 24 солнечные батареи с номинальной мощностью $P_{ном} = 250$ Вт и ветроустановка с номинальной мощностью $P_{ном} = 5$ кВт при скорости ветра 5 м/с, и длиной лопасти 9 метров. В качестве резервного источника используется дизель-генератор. Источником тепловой энергии был выбран плоский солнечный коллектор площадью 25 м^2 , соединенный с баком — аккумулятором тепла, объемом 450 л. В качестве резервного источника используется электрический подогреватель. Была составлена схема энергоснабжения дома на основе возобновляемых источников энергии.



Рис. 1. Схема системы электроснабжения и теплоснабжения дома

*Д. А. Кругликов, студент;
рук. И. А. Султангузин, д. т. н., проф. (МЭИ, Москва)*

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ СИСТЕМЫ КОРПУСА «М» НИУ МЭИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ ПАССИВНОГО ДОМА

Проведенное экспресс-обследование корпуса «М» НИУ МЭИ показало, что существующая система приточно-вытяжной вентиляции (СПВВ) находится в нерабочем состоянии. В связи с этим рассматривается идея реконструкции СПВВ для реализации концепции пассивного дома, которая позволит развить энергосберегающие технологии НИУ МЭИ и создать учебный корпус с около нулевым потреблением энергии.

Реализация концепции пассивного дома требует применения альтернативных источников энергии, а также проектирование современной приточно-вытяжной системы (ПВУ), в которой для нагрева воздуха используется вытяжной воздух (рециркуляция), тепловые насосы, солнечные коллекторы.

В результате проведения экспресс-обследования был составлен тепловой баланс корпуса М: теплый период года 640 кВт, холодный 154 кВт. Ориентировочное значение расхода приточного воздуха составило 160–240 тыс. м³/ч. В дальнейших расчетах данное значение будет уточнено.

Для исследования работы ПВУ с альтернативными источниками энергии необходимо математическое моделирование ПВУ. Так как существующая ПВУ находится в плачевном состоянии, то принято решение установить ПВУ фирмы «Turkov», позволяющей использовать энергию вытяжного воздуха, тепловых насосов, солнечных коллекторов.

Математическая модель СПВВ создается в программном комплексе Comsol Multiphysics. Геометрия математической модели соответствует геометрии корпуса «М» НИУ МЭИ. Для расчета полей температуры и скорости Comsol Multiphysics использует метод конечных элементов.

В работе [1] рассматривалось моделирование системы кондиционирования динамического микроклимата (СКДМ), создающей амплитудные колебания температуры внутреннего воздуха во времени. Результаты моделирования СКДМ на тренажере БЦУ АЭС ИГЭУ показали положительный результат, поэтому в данной работе исследуется возможность применения данной системы в корпусе «М» для некоторых учебных аудиторий.

Литература

1. **Кругликов Д. А.** Разработка математической модели [Текст] / Д. А. Кругликов, А. С. Сафронов // *Материалы докладов XII Международной молодежной конференции «Тинчуринские чтения», 2017 г., т. 2.* — с. 121–123.

А. Э. Кучеревич, студ.: рук. А. Ф. Прищепов, доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ УТЕПЛЕНИИ ЗДАНИЙ

Актуальность утепления фасадов зданий, в последнее время возрастает. Это обусловлено повышением цен на тарифы ЖКХ и энергоносители, что объясняет необходимость экономии финансов. Как показывает статистика, потеря тепла сквозь стены доходит до 50% от общего количества теплопотерь. В работе рассматривается вопрос о снижении теплопотребления промышленного предприятия путем повышения эффективности термической защиты сборочного цеха авиационного завода в Казани.

В качестве теплоизоляционного материала выбрана минеральная вата, которая обладает отличными тепло- и звукоизоляционными свойствами, а также, характеризуется значительной устойчивостью к высоким температурам и действию химических веществ.

В результате расчета, при проведении работ по утеплению фасадов стен здания, тепловые потери снизились на 33%, и был выбран блочно-модульный тепловой пункт для покрытия вновь полученных значений тепловой нагрузки и графика теплопотребления.

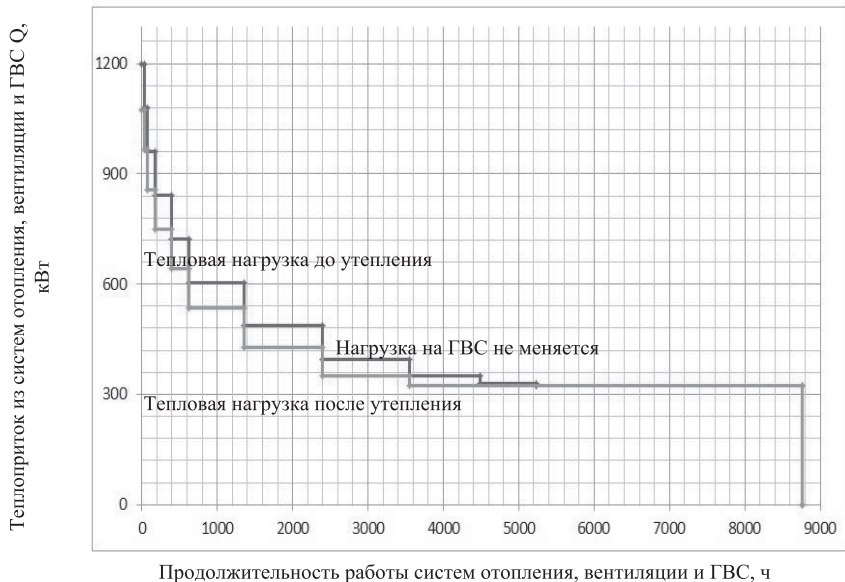


Рис. 1. Совмещенный график продолжительности тепловой нагрузки системы отопления, вентиляции и горячего водоснабжения (совмещенный график Россандера)

Литература

1. Шелгинский А. Я. Системы отопления жилых, общественных и производственных зданий. М.: МЭИ, 2012

*Е. Ю. Кульчицкая, студ.;
рук. А. В. Мотулевич, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАМЕСТИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Одним из ключевых факторов, способствующих улучшению качества жизни и являющихся движущей силой экономического роста является энергия. Постоянное наращивание объемов производства, увеличение количества населения и, соответственно, рост его энергетических потребностей — все это способствует тому, что проблема энергообеспечения выходит на первый план и представляет едва ли не наиболее успешный вызов человечеству в начале XXI века [1].

В контексте мировых вызовов развитие возобновляемой энергетики является ключевым фактором в обеспечении энергетической безопасности, ослаблении энергетической и геополитической зависимости одних стран от других. Трудно переоценить ту роль, которую играет самостоятельность той или иной страны в удовлетворении собственных энергетических потребностей в условиях все возрастающего энергодефицита, особенно для РФ. Использование альтернативных видов топлива дает возможность не только уменьшить нагрузку на традиционную энерговыработку, но и постепенно почти полностью отказаться от использования ископаемого топлива, что соответствует концепции устойчивого развития.

Рынок возобновляемых источников энергии на данном этапе находится на стадии формирования, однако наблюдаются первые положительные тенденции его развития: внедрение в стране определенных регуляторных и законодательных изменений, регламентирующих деятельность участников этого сектора, заинтересованность со стороны как отечественных, так и иностранных инвесторов, более интенсивное развитие альтернативной энергетики по сравнению с традиционной на протяжении последних двух лет. Подкрепленная значительным ресурсным и природным потенциалом, эта сфера экономики, при должном внимании к ней со стороны государства, может стать залогом успешной интеграции России в мировое экономическое пространство.

В работе исследованы аспекты замещения технологий и проведен расчет потребления энергии в структуре формирования доли альтернативных источников энергии.

Литература

1. **Lowry, J.** (2017) 'Alternative, Sustainable and Nuclear Energy', in *Avoiding Carbon Apocalypse Through Alternative Energy: Life After Fossil Fuels*. Cham: Springer International Publishing, pp. 29–49. doi: 10.1007/978-3-319-52195-4_4.

Л. Батмэнд, студент; рук-ль Гашо Е. Г., к.т.н., доцент. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОД КИТАЙ И МОНГОЛИИ

Улан-Батор — столица Монголии. Улан-Батор имеет горный климат с чертами резко-континентального. Среди всех столиц государств, в Улан-Баторе самая низкая среднегодовая температура, самые холодные зимы (холоднее, чем Москве, Астане и Хельсинки).

Теплоснабжение города Улан-Батора осуществляется в основном централизованно от источников: ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, ТЭЦ-4 и теплоцентральный Амгалан [1].

Пекин — столица и один из городов центрального подчинения Китайской Народной Республики. Пекин расположен в подверженном муссонам влажном континентальном климате (умеренном муссонном климате), для которого характерно жаркое влажное лето и холодная ветреная сухая зима, формирующаяся под влиянием сибирских антициклонов.

Теплоснабжение города Пекина осуществляется в основном централизованно от источников: Пекинская ТЭЦ — Гохуа, Пекинская ТЭЦ — Хуанэн, ТЭЦ-2, ТЭЦ — Сидзиншанская, теплоцентральный — Цуо Цзячжуанская, теплоцентральный — Фангжуан, теплоцентральный — Шуанюсюская, теплоцентральный — Шуанжин [2].

Показатели сравнения этих городов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение систем теплоснабжения

№	Город	Улан-Батор	Пекин
1	Численность населения города, тыс чел	1 440	21 705
2	Градусо-сутки отопительного периода, °С·сут	7056	3000
3	Высота над уровнем моря центра города, м	1350	43
4	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, °С	- 39	- 28
5	Средняя температура отопительного периода, °С	- 10,8°С	6,9
6	Суммарная установленная тепловая мощность всех источников, Гкал/ч	2297,6	38244
7	Годовое потребление тепловой энергии, тыс Гкал/год	6114,875	55109,6
8	Общая протяженность тепловых сетей, км	~440	~17000

Потребление тепловой энергии на 1 человека в год в Улан-Баторе составляет 6 Гкал/чел·год, в Москве — 5 Гкал/чел·год, в Пекине — 2,53 Гкал/чел·год.

Литература

1. **Намхайням Б.** Системы теплоснабжения, 2015.
2. **Цзин Лян, Лиюан Чен.** The district heating in china, 2015.

Л. Батмэнд, студент; рук-ль: Гашо Е. Г., к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

БУДУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ УЛАНБАТОРА

Теплоснабжение города Улан-Батора осуществляется, в основном, централизованно от источников: тепловая электростанция 2 (ТЭЦ-2), тепловая электростанция 3 (ТЭЦ-3), тепловая электростанция 4 (ТЭЦ-4), теплоцентраль Амгалан [1]. В последние годы, по данным центральной региональной энергосистемы, в зимнее время максимальная нагрузка на 80 МВт превышает общую установленную мощность источников.

Соответствующие общие мощности ТЭЦ до 2025 года оцениваются в 1100 МВт. В настоящее время установленная мощность 990 МВт, дефицит мощности составляет около 150 МВт. В 2017 году в системе теплоснабжения появился дефицит тепловой мощности 26 Гкал/ч, при этом средний годовой прирост тепловой нагрузки составил 90–100 Гкал/ч.

Существуют следующие проблемы энергосистемы город Улан-Батора:

1. Рост потребления тепловой энергии в городе Улан-Баторе.
2. Рост потребления электроэнергии в городе Улан-Баторе.
3. Устаревшее оборудование в части низкого давления ТЭЦ-3.
4. Чтобы избежать увеличения тепловой нагрузки, используется РОУ.
5. При пиковой нагрузке чтобы обеспечить потребителей, закупается электрическая энергия из России (Гусиноозерская ГРЭС).

Из-за этих проблем проекты модернизации ТЭЦ-3 реализованы, ожидается строительство ТЭЦ-5. Если ТЭЦ-5 будет строиться на востоке города, это значительно усложнит гидравлический режим тепловых сетей. При пиковой нагрузке необходимо использовать тепловой аккумулятор для обеспечения потребителей электрической и тепловой энергией. Потребление тепловой энергии значительно возрастет к 2020 г., дефицит тепловой мощности вырастет до 26–300 Гкал/ч. Поэтому необходимо использовать тепловой аккумулятор объемом 10000–20000 м³ и мощностью аккумулирования энергии 200 Гкал/ч.

Преимущество внедрения теплового аккумулятора:

1. Увеличение комбинированного производства электроэнергии и теплоты.
2. Улучшение гидравлического режима и возможность присоединить новых потребителей
3. Уменьшение импорта электрической энергии из России.

Литература

1. **Намхайням Б.** Системы теплоснабжения, 2015.
2. **Бекман Г., Гилли П.** Тепловое аккумулирование энергии, 1987.

*А. С. Маленков, аспирант;
рук. А. В. Волков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА АБСОРБЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

Одним из вариантов организации системы теплоснабжения является использование абсорбционного теплообменного аппарата (АТТ) вместо традиционного рекуперативного водо-водяного теплообменника [1]. Интерес представляет комплексный эксергетический анализ АТТ, как системы тепломассообменных аппаратов на характерных режимах работы в течение отопительного периода.

В публикациях при эксергетической оценке процессов в абсорбционных аппаратах расчет потоков эксергии обычно ведут исходя из значений коэффициентов работоспособности теплоты. Это связано в первую очередь со сложностью определения энтальпии и энтропии раствора бромистого лития по сравнению с не смешиваемыми рабочими телами, поскольку появляется дополнительный параметр состояния раствора — концентрация. Но, как и любое усреднение, такой шаг является упрощением, поэтому целесообразно провести анализ, рассматривая значения эксергии в узловых точках цикла.

Существует ряд работ, например [2], в которых рассмотрены интегральные уравнения состояния раствора бромистого лития и приведены их решения в численном виде.

Основываясь на этих уравнениях, разработана математическая модель для определения эксергии раствора и равновесного водяного пара в узловых точках цикла. Проведены расчеты эксергетической эффективности АТТ. Рассчитано, что эксергетический КПД АТТ в течение отопительного периода находится в диапазоне 34,3–45,7%. Полученные достаточно низкие значения объясняются наличием потерь эксергии в каждом компоненте АТТ. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации внутреннего цикла АТТ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-08-00984 А.

Литература

1. **Zhang, Y., Shi, W., & Zhang, Y.** (2014). From heat exchanger to heat adaptor: Concept, analysis and application. *Applied Energy*, 115, 272–279.
2. **Reynaldo Palacios-Bereche, R. Gonzales, S. A. Nebra.** Exergy calculation of lithium bromide — water solution and its application in the exergetic evaluation of absorption refrigeration systems LiBr-H₂O // *International journal of energy research*, vol. 36, pp. 166–181 2012

*С. С. Маринина, студ.; Д. О. Романов, А. С. Маленков, аспиранты;
рук-ли: Ю. В. Яворовский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»),
В. В. Сенников, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В настоящее время системы теплоснабжения с пониженными температурами сетевой воды являются объектом повышенного внимания. Это связано с тем, что такие системы имеют ряд преимуществ:

- широкие возможности для интеграции нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в системы теплоснабжения с целью снижения выбросов диоксида углерода в окружающую среду;
- возможность не только покупать тепловую энергию из сети, но и отпускать ее в сеть при самостоятельной локальной генерации (активные потребители);
- повышение эффективности ТЭЦ и увеличение выработки электроэнергии по теплофикационному циклу [1].

Устройством, с помощью которого можно создать систему теплоснабжения с низкими температурами и давлениями, является термогидравлический распределитель (ТГР) [2]. Его использование открывает широкие возможности и имеет ряд достоинств:

- повышение надежности работы энергетического оборудования, снижение аварийности в тепловых сетях, возможность реализовать идеологию smart систем в системах теплоснабжения;
- появляется возможность более широкого использования полимерных трубопроводов;
- повышение устойчивости гидравлических режимов тепловой сети при малых располагаемых напорах.

В рамках исследования выполнено построение трехмерной математической модели ТГР, с помощью которой проведен анализ различных схем организации потоков теплоносителя. Получены распределения температур и векторов скоростей теплоносителя в широких диапазонах регулирования расходов через ТГР. Работа выполнена при финансовой поддержке по госзаданию 13.9613.2017/БЧ.

Литература

1. **Соколов Е. Я.** Теплофикация и тепловые сети. — М.: Изд-во МЭИ, 2001.
2. **Сенников В. В., Генварев А. А., Яворовский Ю. В., Костров А. Е., Козлов М. Г.** Применение термогидравлического распределителя в системах централизованного теплоснабжения // Вестник ИГЭУ. — 2009. — № 4. — С. 27–30.

*Д. С. Музюкова, студент;
рук. Л. В. Плотникова, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

СИСТЕМА УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ НА ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Вопрос использования сбросной теплоты высокого потенциала на промышленных предприятиях (ПП) решен в виде систем утилизации теплоты с включением котлов-утилизаторов, парогазовых установок, систем сбора и возврата конденсата и т.п. Однако аппараты, которые могли бы быть использованы на ПП для утилизации низкопотенциальной энергии, например, теплонасосные установки (ТНУ), находят применение в теплоснабжении зданий при работе на нетрадиционных источниках. При этом промышленные предприятия располагают значительным резервом низкопотенциальной энергии. В связи с этим вопрос оценки возможности утилизации низкопотенциальной теплоты на ПП является актуальным [1].

Одной из энергоемких отраслей промышленности является целлюлозно-бумажная промышленность (ЦБП). На предприятиях ЦБП имеются потоки теряемой низкопотенциальной теплоты: теплота сбросной воды, образующейся в результате охлаждения щелока; паровоздушная смесь, отходящая от бумаго- и картоноделательных машин; теплота верхнего продукта водно-спиртовых колонн на вспомогательном участке производства спирта [2]. Более полное использование перечисленных потоков снизит себестоимость вырабатываемой продукции. Предлагается использовать ТНУ, включенную в схему сушильной установки бумагоделательной машины. Схема позволяет утилизировать теплоту отработанного влажного воздуха сушильной части бумагоделательной машины с целью доведения параметров воздуха, забираемого из помещения в сушильную установку, до требуемых параметров греющего сухого воздуха. Схема включения ТНУ позволяет осуществить удаление влаги из отработанного в ТНУ воздуха. Также предлагается использовать тепловой насос открытого типа для утилизации теплоты верхнего продукта водно-спиртовых колонн. В результате включения системы утилизации с ТНУ в схему производства бумаги 80% теряемой ранее энергии возвращается в производство.

Литература

1. **Котлов Н. А., Котлов А. А.** Использование низкопотенциальных тепловых ресурсов в теплоэнергетике // Компрессорная техника и пневматика. 2013. № 1.
2. **Плотникова Л. В., Чиликова И. И., Додонов В. А.** Структурный анализ теплотехнологического комплекса производства бумаги ОАО «Полиграфкартон» // Инженерный вестник Дона. 2016. т. 43. № 4 (43).

*А. А. Никулина, студент;
рук. Е. В. Жигулина к.т.н., доц.,
В. Г. Хромченков, ст. преп. (МЭИ, Москва)*

СПОСОБЫ ВОЗМОЖНЫХ МОДЕРНИЗАЦИЙ ТОПЛИВНЫХ ХОЗЯЙСТВ ТЭС ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ИХ ЭНЕРГОЕМКОСТИ

Модернизация топливного хозяйства является одним из наиболее перспективных направлений повышения энергоэффективности тепловых электрических станций (ТЭС). На европейской части России для большинства ТЭС природный газ является основным топливом. Однако в качестве резервного топлива обычно используют мазут, который имеет ряд недостатков: дорогостоящее содержание мазутного хозяйства (постоянный подогрев и организация циркуляции мазута, дополнительный персонал), снижение КИТ котельных установок, в том числе за счет отложений продуктов сгорания на поверхностях теплообмена, и т. д. Одним из возможных способов решения этой проблемы может стать использование сжиженного газа, в качестве резервного топлива. Газообразное резервное топливо имеет много преимуществ: потребительские свойства; экономическая эффективность; экологическая чистота.

В работе предложены оригинальные схемы реконструкции существующих топливных хозяйств газоиспользующих ТЭС, позволяющие создавать, хранить и использовать необходимое количество нового вида резервного топлива — сжиженного природного газа. Эти схемы связаны непосредственно с системой подготовки поступающего на ТЭС природного газа, где вместо его дросселирования предлагается снижать давление в детандере. Такое техническое решение позволяет производить дополнительную электроэнергию и глубоко охлаждать газ. Проведено моделирование процесса расширения природного газа двух составов с различным содержанием высококипящих фракций. Проведены исследования зависимостей выхода конденсата и выработки электроэнергии от начальных параметров потока и от состава природного газа. Расчеты показали, что выбор конкретного схемного решения зависит от состава природного газа. Расчеты показали, что данная схема может применяться только при использовании природного газа со значительным содержанием высококипящих фракций (>4–6%), выход конденсата возможен только при предварительном охлаждении. Проведены исследования зависимостей выхода конденсата и выработки электроэнергии от начальных параметров потока. Для оценки целесообразности перехода на сжиженный природный газ в качестве резервного топлива необходимо провести дальнейшие исследования, выполнить техническую проработку и технико-экономическое обоснование.

И. В. Петрушина, студ.; рук. А. Ф. Прищепов, доц. (НИУ «МЭИ»)

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВАРИАНТЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ КРЫМА. ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА

В 2014 г. на Крымском полуострове вырабатываемая источниками энергия покрывала только 20% собственного энергопотребления. В мае 2016 г. Крым был присоединен к ЕЭС России, и с помощью передачи электроэнергии через энергетический мост были компенсированы необходимые мощности.

Собственную выработку на полуострове осуществляют ТЭЦ, их мощность в сумме составляет 143 МВт. Помимо этого австрийской компанией Active Solar были построены 4 солнечные электростанции, чья мощность суммарно составляла более 200 МВт, но отпуск электроэнергии в сеть не производится.

Потенциал Крыма для использования возобновляемых источников очень велик, но требует больших экономических затрат. До ноября 2015 г. большая часть электроэнергии поступала от Запорожской АЭС и Херсонской ТЭЦ, по причине чего на полуострове не было активного развития энергообеспечения. На данный момент электроэнергия поступает по кабельно-воздушным линиям электропередач энергетического моста, основным источником мощности выступает Ростовская АЭС. На рис. 1 представлена диаграмма выработки электроэнергии на полуострове в трех случаях.

Сравнение стоимости построения энергетического моста и солнечных электростанций, покрывающих зимние и летние пики (1427 МВт и 1249 МВт многолетние пики, достигнутые в 2017 г.), представлены на рис. 2.

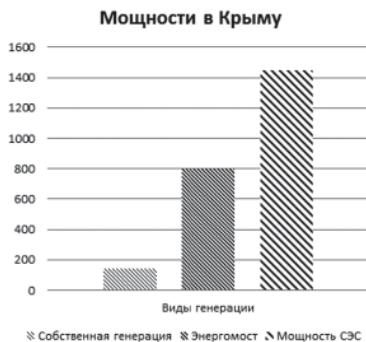


Рис. 1. Мощности Крыма, МВт

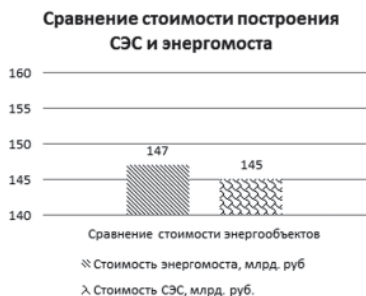


Рис. 2. Сравнение стоимости построения СЭС и энергомоста

*А. В. Пронин, студент;
рук. А. В. Мартынов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АВТОНОМНОЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ОТ ТНУ ТИПА «ВОЗДУХ–ВОДА»

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов представляет собой одну из актуальных проблем. Одним из перспективных путей решения этой проблемы является применение новых энергосберегающих технологий, основанных на использовании нетрадиционных источников энергии [1].

Тепловой насос типа «воздух-вода» — оборудование, предназначенное для извлечения тепла из атмосферного воздуха, дальнейшего его использования в системах горячего водоснабжения и отопления зданий. Замена воды на воздух, в качестве низкопотенциального источника тепла, упрощает систему и экономит воду. Такие тепловые насосы легки в установке, не требуют бурения скважин и прокладки труб.

Тепловой насос потребляет электрическую энергию на реализацию термодинамического цикла. Коэффициент трансформации теплового насоса зависит от уровня температур в испарителе и конденсаторе. В качестве хладагента используется фреон R-142.

Как известно, идеальный коэффициент трансформации теплового насоса определяется соотношением:

$$\mu_{\text{и}} = T_{\text{конд}} / (T_{\text{конд}} - T_{\text{возд}}), \quad (1)$$

где $T_{\text{конд}} = 80^\circ$ — температура конденсации фреона R-142; $T_{\text{возд}}$ — температура воздуха.

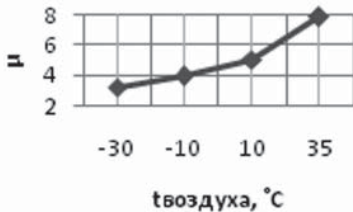


Рис. 1. Зависимость μ от $t_{\text{возд}}$

Зависимость идеального коэффициента трансформации от температуры воздуха представлена на рис. 1.

Цель исследования, проведенного в данной работе, заключается в определении коэффициента трансформации, который может быть получен при работе теплового насоса типа «воздух-вода» с хладагентом фреон R-142 в реальных условиях эксплуатации с учетом изменения параметров окружающей среды.

В работе также проведен анализ изменения основных энергетических показателей данного теплового насоса в течение года.

Литература

1. Соколов Е. Я., Бродянский В. М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. М.: Энергоиздат, 1981.

*Л. Р. Сабирова, И. М. Гатауллина, студенты;
рук. А. Е. Кондратьев, к. т. н., доц. (КГЭУ, Казань)*

ПРИМЕНЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ В ГОРОДЕ КАЗАНЬ

Тепловой пункт — это комплекс устройств, расположенных в обособленном помещении и состоящий из элементов тепловых энергоустановок, обеспечивающих присоединение этих установок к тепловой сети, их работоспособность, управление режимами теплопотребления, трансформацию тепла и регулирование параметров теплоносителя [1].

Основное назначение теплового пункта — прием, подготовка теплоносителя и подача его в системы теплопотребления, а также возврат использованного теплоносителя в тепловую сеть. Тепловые пункты бывают центральными (ЦТП) и индивидуальными (ИТП) [2].

Необходимость внедрения ИТП определяется основными факторами, связанными с экономией тепла и денежными затратами.

До конца 2017 г. в Казани должны установить ИТП на 1499 объектах: в 1125 жилых домах, а также в 374 детских садах, школах, медучреждениях и других зданиях, подключенных сейчас к 105 действующим ЦТП. Но это не значит, что всего установят 1499 ИТП, как пояснили в городском комитете ЖКХ, в больших жилых домах придется ставить не один, а 2, а то и 3 ИТП — в зависимости от объема потребления горячей воды в доме [3].

Основными преимуществами ИТП является:

- надежность и стабильность работы ИТП;
- доступность приборов, которая упрощает контроль как за расходом теплоносителя, так и количественными показателями тепловой энергии;
- возможность гибкого и оперативного влияния на расход тепла путем оптимизации режима его потребления, в зависимости от погоды;
- простота монтажа и довольно скромные габариты.

Литература

1. **Ерохин В. Г., Маханько М. Г.** Основы термодинамики и теплотехники. М.: Либроком, 2015.
2. **Смирнова М. В.** Теоретические основы теплотехники. М.: ИнФолио, 2016.
3. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.evening-kazan.ru>.

А. А. Выймова, А. А. Савина, студенты; рук-ли: А. С. Маленков, асс., Ю. В. Яворовский, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ АКТИВНОГО ЗДАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛООВОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ

Перспективным направлением развития систем энергоснабжения являются технологии Smart Grid, управляющие системами энергоснабжения потребителей. Одной из особенностей интеллектуальной энергетической системы является включение в нее потребителей активного типа. Под ними понимаются потребители, самостоятельно обеспечивающие часть своей тепловой нагрузки и, возможно, отпуска части вырабатываемой теплоты стороннему потребителю. Система Smart Grid подразумевает возможность адаптивного регулирования параметров (температура, расход) теплоносителя и режимов теплопотребления. В работе рассмотрена концепция «интеллектуальной системы» на примере системы теплоснабжения многоэтажного здания, использующего энергию солнечной радиации для выработки теплоты [1].

При использовании нетрадиционных источников энергии для увязки графиков потребления и выработки теплоты целесообразно в качестве компонента системы теплоснабжения рассматривать узел теплового аккумулирования [2].

Интерес представляет комплексный анализ вопросов теплоснабжения потребителей и решение задач аккумулирования на характерных режимах работы в течение отопительного периода. Проведен анализ системы теплоснабжения многоэтажного здания по блокам «солнечный коллектор — аккумулятор теплоты — потребитель теплоты».

Основные результаты работы заключаются в следующем. Предложен алгоритм функционирования рассматриваемой системы с учетом индивидуального управления подачи теплоты группам потребителей, а также автоматического поддержания гидравлических режимов. Проведена интегральная оценка ожидаемого эффекта применительно к московскому региону расположения потребителей.

Работа выполнена в рамках проекта Госзадание № 13.9613.2017/БЧ.

Литература

1. **Оцисик М. Н.** Сложный теплообмен. М.: Мир, 1986
2. **Тимакова О. В.** Автономная система солнечного отопления и горячего водоснабжения с использованием аккумулирования на основе веществ с фазовым переходом: Дисс. канд. техн. наук: 05.14.04/МЭИ, М., 2006.
3. **Харченко Н. В.** Индивидуальные солнечные установки. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 208 с.: ил.

И. А. Шанина, студ.: рук. А. Ф. Прищепов, доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ

Тепловые пункты выступают в роли связующего звена между магистральной сетью и распределительными тепловыми сетями, которые идут непосредственно к потребителям тепловой энергии, поэтому они должны обеспечивать безаварийную работу.

В работе рассматривается проект реконструкции ЦТП, который был осуществлен ПАО «МОЭК» по причине износа оборудования. В ходе работы был обоснован выбор нового оборудования, произведен гидравлический расчет ЦТП. Также в работе представлен тепловой расчет потребителей теплоты, присоединенных к центральному тепловому пункту, в результате которого была проведена проверка, покрывает ли реконструированный ЦТП потребность потребителей в теплоте.

Результатом реконструкции стал более гибкий и автоматизированный процесс регулирования параметров теплоносителя в трубопроводах ЦТП. Однако проблемой многих тепловых пунктов, в том числе и рассматриваемого в работе, является то, что в проектах реконструкции зачастую не предусматривается возможность регулирования тепловой нагрузки при изменении количества теплоты, требуемого потребителям.

В Москве осуществляется программа по утеплению домов. Самый популярный способ утепления — с помощью вентилируемого (навесного) фасада. При таком утеплении домов-потребителей данного ЦТП тепловая нагрузка меняется, и потребность в теплоте падает примерно на 30–32%. По этой причине в домах наблюдается перетоп.

В Москве осуществляется программа по утеплению домов. Самый популярный способ утепления — с помощью вентилируемого (навесного) фасада. При таком утеплении домов-потребителей данного ЦТП тепловая нагрузка меняется, и потребность в теплоте падает примерно на 30–32%. По этой причине в домах наблюдается перетоп.

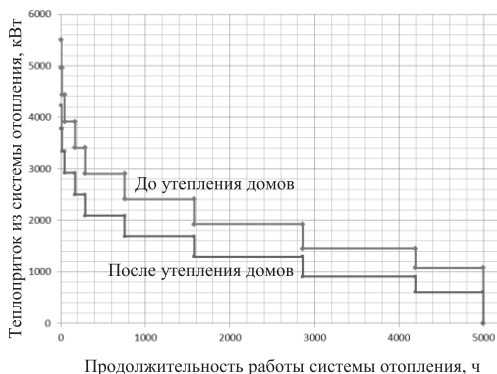


Рис. 1. График продолжительности тепловой нагрузки системы отопления (график Россандера)

Литература

1. Шелгинский А. Я. Системы отопления жилых, общественных и производственных зданий. М.: МЭИ, 2012.

М. В. Старчак, студ.; рук. Е. В. Макаревич, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ УСТАНОВОК ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА

Как известно, одной из серьезных проблем как большой, так и малой энергетики, является необходимость работы основного оборудования с пониженными по сравнению с номинальными нагрузками, что определяется сезонной и суточной неравномерностями потребления энергии. Работа в таких режимах генерации электроэнергии и тепла приводит к существенному снижению показателей эффективности тепловых электростанций (ТЭС).

В этих условиях одним из возможных способов повышения технико-экономических показателей работы ТЭС может быть генерация различных иных *произведенных энергоносителей* за счет использования выработанных на электростанции и не востребованных электроэнергии или тепла. Одним из таких энергоносителей является водород. Водород используется в различных технологиях в пищевой, химической, нефтяной промышленности, в металлургии, медицине, микроэлектронике, производстве строительных материалов и др., а также как топливо.

Существуют несколько различных способов производства водорода с использованием паровой конверсии и электролиза [1–3]. Для реализации способа паровой конверсии используется тепло промышленных или теплофикационных отборов паротурбинных установок, для электролиза — выработанная на ТЭС электроэнергия.

При производстве энергоносителей на объекте генерации обеспечивается непрерывная работа основного оборудования в режимах близких к номинальным в периоды провалов нагрузки, а также появляется возможность организации централизованного энергоснабжения потребителей дополнительными произведенными энергоносителями. При этом удельный расход топлива на выработку электроэнергии, например, на ТЭЦ в летние месяцы может быть уменьшен на 40–50%.

Литература

1. **Радченко Р. В., Мокрушин А. С., Тюльпа В. В.** Водород в энергетике: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2014.
2. **Козлов С. И., Фатеев В. Н.** Водородная энергетика: современное состояние, проблемы, перспективы / Под ред. Е. П. Велихова. — М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2009.
3. **Синяк Ю. В.** Перспективы применения водорода в системах децентрализованного электро- и теплоснабжения // Проблемы прогнозирования. 2007. № 3.

М. Н. Степаненко, асп.;
рук. А. Я. Шелгинский, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭНЕРГОЗАТРАТЫ ПРИ УВЛАЖНЕНИИ ВОЗДУХА

При разработке и модернизации различных схемных решений систем вентиляции необходимо определять эксплуатационные затраты тепловой и электрической энергии для сравнительного технико-экономического анализа. В [1,2] приводится сравнительный анализ энергозатрат различных схем систем вентиляции, включающий: подогрев наружного воздуха в холодный период года; затраты электроэнергии на привод вентиляторов, учитывающие аэродинамические сопротивления в воздуховодах и теплообменных аппаратах (ТА), а также на привод компрессора теплонасосной установки (ТНУ). Для полного учета энергозатрат необходимо учитывать и энергозатраты при увлажнении воздуха, связанные с дополнительным аэродинамическим сопротивлением камеры увлажнения, энергозатраты на привод электронасосов, обеспечивающих циркуляцию воды через камеру орошения, расходом воды или пара.

Проведен сравнительный анализ систем увлажнения при реализации адиабатного и изотермического процессов. Показано, что энергозатраты при адиабатном и изотермическом увлажнении практически одинаковы.

На примере конкретного производственного помещения определено, что энергозатраты при увлажнении воздуха составляют около 12% от общих энергозатрат в системах вентиляции воздуха.

Показано, что технико-экономическая целесообразность использования тех или иных энергосберегающих мер для различных схемных решений систем вентиляции воздуха зависит от многих факторов, основными из которых являются климатологические условия рассматриваемого региона, стоимостные показатели оборудования и используемых энергоносителей.

Литература

1. **Степаненко М. Н., Шелгинский А. Я., Яворовский Ю. В.** Энергозатраты при использовании теплоты вентиляционных выбросов // *Промышленная энергетика*, 2016, № 3, стр. 8–14
2. **Степаненко М. Н., Шелгинский А. Я.** Использование теплоты вентиляционных выбросов в системах вентиляции зданий // *Надежность и безопасность энергетики*. 2014. № 2 (25). с. 42–45.

*К. А. Тихомирова, студент;
рук. А. С. Маленков, асс. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПОНИЖЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ОБРАТНОЙ СЕТЕВОЙ ВОДЫ

При модернизации и строительстве новых объектов в районах с существующей застройкой с большой плотностью тепловой нагрузки и без модернизации тепловых сетей, даже при наличии достаточной тепловой мощности источника (ТЭЦ, котельной) может возникнуть проблема подключения новых потребителей к тепловым сетям. Это обусловлено ограниченным резервом по наращиванию передаваемой тепловой нагрузки от источника до центрального теплового пункта (ЦТП) при существующей инфраструктуре системы теплоснабжения [1].

Рассмотрен способ подключения новых потребителей теплоты к существующей инфраструктуре со сниженным расчетным расходом теплоносителя в контуре источник — ЦТП. Особенность способа заключается в снижении температуры обратной сетевой воды с помощью абсорбционного трансформатора тепла (АТТ) [2], таким образом, можно достичь снижения расчетного расхода теплоносителя для нового или реконструируемого потребителя теплоты на 30–35% по сравнению с традиционным вариантом. Весомым преимуществом применения АТТ для снижения температуры обратной сетевой воды по сравнению с парокompрессионными тепловыми насосами является незначительный расход электроэнергии на собственные нужды.

Для оценки энергетической эффективности системы используется эксергетический метод термодинамического анализа. Сравнение систем проводится на основе метода относительного соответствия предлагаемой и традиционной систем теплоснабжения.

Рассчитано, что прирост относительного эксергетического коэффициента полезного действия для контура источник — ЦТП может достигать 2% в зависимости от режима работы системы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-08-00984 А.

Литература

1. **Соколов Е. Я.** Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. — 7-е изд., стереот. — М.: Изд-во МЭИ, 2001. — 472 с.
2. **Бадилькес И. С., Данилов Р. Л.** Абсорбционные холодильные машины. — М.: Пищевая промышленность, 1966. — 356 с.

*С. А. Вольнов, студент;
рук. А. В. Волков, д.т.н., проф. НИУ МЭИ, Москва*

АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

В работе проведен подробный расчет теплоизолирующих конструкций трубопроводных систем на примере ЦТП «Корпус С» НИУ МЭИ. На указанном примере рассчитаны потери тепловой энергии от некачественно выполненной изоляции с учетом потерь на трубопроводах, теплообменных аппаратах, емкостях и местных сопротивлениях, а именно запорно-регулирующей арматуре.

Конвективная составляющая теплообмена в общем случае рассчитана по формуле

$$Q_{\text{конв}} = K_{\text{конв}} \cdot \pi(t_{\text{вн}} - t_{\text{ос}})L \cdot K_{\text{п}} \quad (1)$$

[1], где L — длина трубопровода, $K_{\text{п}}$ — коэф. поправки на вид прокладки, а $K_{\text{конв}}$ — линейный коэффициент конвективной теплопередачи

$$K_{\text{конв}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{вн}} \cdot d_{\text{вн}}} + \frac{1}{2\lambda_{\text{ст}} \ln\left(\frac{d_{\text{нар}}}{d_{\text{вн}}}\right)} + \frac{1}{\alpha_{\text{нар}} \cdot d_{\text{нар}}}} \quad (2)$$

[1], где $\alpha_{\text{вн}}$, $\alpha_{\text{нар}}$ — коэф-ты теплоотдачи, $d_{\text{вн}}$, $d_{\text{нар}}$ диаметры трубопровода, $\lambda_{\text{ст}}$ — теплопроводность материала трубы. Лучистая составляющая в общем виде

$$Q_{\text{луч}} = \varepsilon \cdot C_0 \cdot F_{\text{пов}} \cdot (T_{\text{в}}^4 - T_{\text{ос}}^4) \quad (3)$$

[2], где ε — степень черноты, C_0 — постоянная Стефана-Больцмана, $F_{\text{пов}}$ — поверхность излучения.

В общем виде потери теплоты получены в виде суммы (1) и (3).

В работе подробно рассмотрены современные виды и типы теплоизолирующих конструкций трубопроводных систем, а также подробно перечислены достоинства и недостатки той или иной конструкции для каждого отдельного элемента указанных систем [3].

Литература

1. **Соколов Е. Я.** Теплофикация и тепловые сети. М. МЭИ, 1999
2. **Данилов О. Л., Гаряев А. Б., Яковлев И. В.** «Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях», изд. дом МЭИ, 2010
3. **Логинова Н. А., Лукин М. В., Прищепов А. Ф. и др.** Учебное пособие «Теплоизоляционные покрытия для защиты энергетического оборудования и элементов трубопроводных систем» — изд. дом МЭИ, 2015

*А. Р. Загретдинова, студент;
рук. А. Е. Кондратьев, к. т. н., доц. (КГЭУ, Казань)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ И ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Применение централизованного теплоснабжения с подготовкой теплоносителя в индивидуальных тепловых пунктах (ИТП) в целях обеспечения теплотой многоквартирного дома наиболее развито в крупных городах, так как децентрализация подобных потребителей очень сложна и нецелесообразна. Этого нельзя сказать о малых населенных пунктах, где имеет место быть лишь децентрализованное теплоснабжение.

Теплоснабжение потребителей от ИТП и автономного источника имеет одинаковое положительное качество — возможность местного регулирования в системах отопления и горячего водоснабжения в зависимости от потребностей в тепле каждой квартиры дома.

По сравнению с теплоснабжением от автономного источника, централизованная система имеет ряд недостатков [1]:

1. Потери теплоты от внешнего охлаждения могут в 3–4 раза превышать нормируемое значение потерь тепловой мощности;
2. Утечки теплоносителя могут в 40 раз превышать нормируемое значение потерь с утечками в сети;
3. Большие затраты электроэнергии на перекачку теплоносителя.

Значительные потери теплоты вызваны плохим состоянием гидравлической и тепловой изоляции трубопроводов, износом и неудовлетворительным качеством монтажа оборудования систем централизованного теплоснабжения [2]. Все это способствует возникновению аварийных ситуаций при эксплуатации тепловой сети, и, следовательно, неудовлетворенности потребителей качеством оказания услуг по отпуску теплоты.

Таким образом, децентрализованная система теплоснабжения имеет преимущество над централизованной системой, заключающееся в сведении к минимуму потерь при транспортировке теплоносителя благодаря отсутствию внешних распределительных сетей.

Литература

1. **Хаванов П. А.** Развитие, перспективы и состояние децентрализованных систем теплоснабжения в РФ // Вестник МГСУ — М.: Изд-во Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2012.
2. **Самутенко К. С., Лобов Д. С.** Автономная система теплоснабжения // Актуальные вопросы энергетики: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Минобрнауки России, ОмГТУ [редкол.: П. А. Батраков (отв. ред.) и др.]. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2017.

Ю. В. Жгун, студент; рук. Е. В. Жигулина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ПАНЕЛЬНО-ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОГО МИКРОКЛИМАТА В СБОРОЧНЫХ ЦЕХАХ

В современном мире все большее внимание специалистов вызывают энергоэффективные системы климатизации, в которых может использоваться низкотемпературный теплоноситель в режиме отопления и высокотемпературный теплоноситель в режиме охлаждения. К ним относятся системы панельно-лучистого отопления и охлаждения.

Излучающие *стенные* и *потолочные* панели являются оборудованием, в процессе работы которого нагрев или охлаждение воздуха происходит не только за счет конвекции, но и излучения (нагревании предметов потоком лучистой энергии, переносимой электромагнитными волнами инфракрасного диапазона) [1].

Одним из необходимых условий высокой производительности труда является обеспечение оптимальных микроклиматических условий на рабочем месте. Очень важно соблюдать Санитарные правила и нормы предназначены для предотвращения неблагоприятного воздействия микроклимата рабочих мест, производственных помещений на самочувствие, функциональное состояние, работоспособность и здоровье человека [2]. Сборочные цеха относятся к категории 2А, работы, с интенсивностью энергозатрат 175–222 Вт, что требует температуры для нормальных условий труда — 18–22°C, относительная влажность — 60–80%, скорость движения воздуха — 0,5–1,5 м/с [2].

Применение системы панельно-лучистого отопления и охлаждения позволит обеспечить необходимый микроклимат помещения сборочного цеха, где ежедневно происходит работа персонала. Данная система обладает высокой энергоэффективностью и обеспечивает повышенные санитарно-гигиенические показатели, по сравнению с традиционными радиаторами. Проведенные расчеты показали, что экономия энергии на тепло- и холодоснабжение сборочного цеха, в зависимости от способа монтажа и варьирования мощности производственного процесса, составит от 15 до 30%.

Литература

1. Ю. Я. Кувшинов, А. В. Баранов, Н. В. Шилкин Рекомендации АВОК «Системы отопления с потолочными подвесными излучающими панелями» // Р НП «АВОК» 4.1.6–2009.
2. Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»

*С. Р. Саитов, асп.; Н. А. Кириллова, студ.;
рук. Н. Д. Чичирова, д.х.н., проф. (КГЭУ, Казань)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ И АЛГОРИТМА РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Обеспечение надежной работы тепловых сетей является приоритетной задачей в процессе теплоснабжения потребителей теплоты.

Для оценки надежности тепловых сетей предприятием ОАО «Газпром промгаз» разработана методика [1], которая позволяет на основании таких исходных данных, как: протяженность, диаметр и продолжительность эксплуатации участков трубопроводов системы, определить коэффициент готовности и вероятность безотказной работы теплосети.

Недостатком такого подхода является то, что при расчетах не учитывается целый ряд факторов, напрямую влияющих на надежность работы теплосети: остаточная толщина металла стенки трубопровода (K1), наличие предшествующих порывов на участке (K2), коррозионная активность грунта (K3), наличие или следы затопления участка (K4), пересечение с коммуникациями (K5).

В принятой на сегодняшний день методике, интенсивность отказов элементов тепловой сети осуществляется следующим образом:

$$\lambda = \lambda^{\text{нач}} \cdot (0,1 \cdot \tau^{\text{экспл}})^{\alpha-1},$$

где $\lambda^{\text{нач}}$ — начальная интенсивность отказов 1 км однолинейного теплопровода, $\tau^{\text{экспл}}$ — продолжительность эксплуатации участка, α — коэффициент, учитывающий продолжительность эксплуатации участка.

$$\alpha = \begin{pmatrix} 0,8 \text{ при } 0 < \tau^{\text{экспл}} \leq 3 \\ 1 \text{ при } 3 < \tau^{\text{экспл}} \leq 17 \\ 0,5 \cdot e^{(\tau^{\text{экспл}}/20)} \text{ при } \tau^{\text{экспл}} > 17 \end{pmatrix}$$

В усовершенствованной методике интенсивность отказов элементов тепловой сети производится по формуле:

$$\lambda = \lambda^{\text{нач}} \cdot (\tau^{\text{экспл}})^{\alpha-1},$$

где α — коэффициент, учитывающий особенности монтажа и эксплуатации участка трубопровода:

$$\alpha = 0,5 \cdot e^{K_i} = 0,5 \cdot e^{f(K1;K2;K3;K4;K5)}.$$

Литература

1. **Сеннова Е. В., Кирюхин С. Н.** Методика и алгоритм расчета надежности тепловых сетей при разработке схем теплоснабжения городов. М.: ОАО «Газпром промгаз». — 2013. — 104 С.

Секция 37

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ И ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Председатель секции — зав. каф. Х и ЭЭ д.х.н., профессор
Н.В. Кулешов
Секретарь секции — магистр А.Н. Лабо

Ю. О. Кудряшова, студ.; рук. Т. Л. Кулова, д.х.н. (ИФХЭ РАН, Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТИТАНАТА НАТРИЯ

Одним из развивающихся направлений в электрохимической энергетике является создание новых более экологичных и экономичных систем ХИТ, таких как, например, натрий-ионные аккумуляторы.

Целью данного исследования было изучение процесса обратимого внедрения натрия в титанат натрия с целью его дальнейшего использования в качестве анодного материала натрий-ионного аккумулятора.

Анодный материал на основе титаната натрия $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7/\text{C}$ способен внедрять до двух ионов натрия на формульную единицу, при этом разрядный потенциал составляет около 300 мВ, что выгодно отличает этот материал от титаната лития.

Методами гальваностатического циклирования и циклической вольтамперометрии определена обратимая емкость при внедрении натрия в титанат натрия ($\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$), полученный твердофазным синтезом [1]. Установлено, что на электродах из титаната натрия при малых токах (С/8) реализуются емкости, близкие к теоретическим, обратимая емкость составляет 155 мАч г⁻¹. Так же, как и в литиевой системе, процесс внедрения-экстракции натрия в титанат натрия протекает по двухфазному механизму. В соответствии с этим, при экстракции натрия на гальваностатических кривых отмечается участок с практически постоянным потенциалом около 0.3 В относительно натриевого электрода сравнения.

Данные потенциодинамических исследований титаната натрия хорошо согласуются с результатами гальваностатических исследований. В ходе работы также было установлено, что замена электролита, а именно, гексафторфосфата натрия на перхлорат натрия не привела к существенному изменению формы ЦВА.

Таким образом, установлено, что титанат натрия, приготовленный твердофазным синтезом, является перспективным материалом для отрицательного электрода натрий-ионного аккумулятора.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Соглашение № 16-13-00024).

Литература

1. I. A. Stenina Synthesis and Ionic Conduction of Sodium Titanate $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ // Russ. J. Inorg. Chem. 2016. Vol. 61, No. 10, pp. 1235–1240.

*А. Н. Лабо, А. А. Собакин, студенты;
рук. И. А. Пуцылов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО ИСТОЧНИКА ТОКА ДЛЯ ЭНДОСКОПИЧЕСКОЙ ВИДЕОКАПСУЛЫ

Объектом исследования является источник тока для эндоскопической видеокапсулы диагностического медицинского комплекса визуального осмотра и дистанционной видеозаписи картины слизистой оболочки тонкого кишечника желудочно-кишечного тракта. Эндоскопическая видеокапсула состоит из оболочки, миниатюрной видеокамеры, источников света, химического источника тока (ХИТ) и передатчика. В настоящее время отечественные эндоскопические видеокапсулы находятся на стадии разработки, а ХИТ для них и вовсе отсутствуют. В связи с чем, чрезвычайно актуально создание высокоэффективного миниатюрного ХИТ отечественного производства для питания создающегося поколения российских эндоскопических видеокапсул.

В соответствии с ТЗ отечественного производителя ХИТ эндоскопической видеокапсулы должен обеспечивать ее непрерывную работу при температуре от 35 до 38°C в течение 8 ч. Рабочее напряжение источника тока для обеспечения качественной видеосъемки при этом не должно быть выше 3,5 В и снижаться ниже 2,2 В. Эндоскопическая видеокапсула осуществляет видеосъемку один раз за каждые 500 мс, этот процесс представляет определенный токовый цикл:

45 мА в течение 45 мс (вспышка и фотографирование), 15 мА в течение 250 мс (передача данных на внешнее устройство), 0,3 мА в течение 205 мс (период ожидания). Для моделирования режима работы гастрокапсулы в работе использовался имитатор нагрузки переданный для реализации испытаний производителем медицинского гастроскопического комплекса.

Для создания источника тока было предложено использовать литий-фторуглеродную электрохимическую систему. В работе были изготовлены цилиндрические источники тока в корпусах из нержавеющей стали диаметром 9,5 мм, высотой 9 мм. Корпус ХИТ имеет отрицательную полярность. В крышке источника тока расположен гермовывод положительного электрода. Гермовывод (изолятор) ИСП-0,5 М аналогичен изолятору для источников тока в электрокардиостимуляторах. С партией готовых элементов были проведены испытания макетов эндоскопической видеокапсулы. Макет капсулы работал от ХИТ до полного сохранения своей работоспособности. Снимки имели разрешением 640×480 точек и сохранялись во внешнем приемнике на флеш-память. Остаточная емкость разработанных ХИТ после 8 часов работы на имитаторе составляла в среднем 60 мА*ч, что превышает требования ТЗ.

*Е. А. Мещерякова, студ. ;
рук. К. С. Смирнов, к.т.н., вед. инж. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ТОНКОПЛЕНОЧНОГО ЛИТИЕВОГО ИСТОЧНИКА ТОКА ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Развитие современной электронной техники стимулирует разработку компактных и эффективных источников питания. Наиболее перспективными химическими источниками тока сегодня являются литиевые системы (Li-ion и Li-pol). Однако, серьезной проблемой литий-ионных систем является падение их емкости в процессе циклирования и хранения, пожаровзрывоопасность и большие габариты самих источников токов. В настоящее время активно разрабатываются катодные материалы на основе литий-металл фосфатов. Применение твердополимерных электролитов вместо жидких позволяет создать тонкопленочные источники тока разнообразной конфигурации и габаритов, обладающих повышенной безопасностью, высокой сохраняемостью и механической прочностью. Наиболее привлекательным соединением этого класса является литий-железо фосфат (LiFePO₄), который характеризуется высоким разрядным потенциалом (3,4 В) и относительно высокой теоретической емкостью 0,17 (А ч)/г.

Одним из эффективных способов воздействия на структуру твердых тел является их механоактивация (МА) на аппаратуре высокого давления типа наковален Бриджмена. В процессе МА твердые вещества подвергаются совместному воздействию давления в диапазоне 1–5 ГПа и сдвиговых деформаций. Применение МА при изготовлении катодов литиевых источников тока приводит к существенному улучшению их электрохимических характеристик. Полученные данные показывают, что применение МА дает преимущества по разрядному потенциалу и удельной емкости электрода. Выигрыш достигает 15–20%. Ресурсные испытания показали, что твердофазные катоды на основе LiFePO₄ обратимо циклируются, потеря емкости составляет 0,05% за цикл.

Экспериментальные данные легли в основу разработки аккумулятора на основе электрохимической системы литий/литий фосфат железа для беспилотного летательного аппарата (квадрокоптера). Габариты данного аккумулятора 100×55×25 мм при весе 132,24 г. Емкость составляет 4,48 А×ч, напряжение 3,8 В. Он состоит из 30 элементов, соединенных параллельно.

*К. С. Огибина, А. Г. Картушин, студенты;
рук. И. А. Пуцылов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КАТОДОВ ЛИТИЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ ВЫСОКОМОЩНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ РЕЖИМОВ РАЗРЯДА

В настоящее время в ряде областей науки и техники возникла необходимость создания высокоэнергоемких миниатюрных химических источников тока. Так, например, в медицине получили широкое распространение имплантируемые кардиовертеры дефибрилляторы (ИКД) в задачу которых входит мониторинг состояния сердца и оперативное воздействие на данный орган в случае сбоев в его работе. Современный ИКД — это система, которая состоит из устройства, заключенного в корпус из титана, и электродов, соединенных с ним и находящихся в сердечной камере. Имплантация устройства осуществляется в правую или левую подключичную область. Источником питания в ИКД служит литиевый элемент, в качестве активных компонентов в котором применяются металлический литий и соединения серебра и ванадия. Настоящая работа посвящена созданию композиционных литий-фторуглеродных катодов содержащих некоторую долю соединения $Ag_{1+x}V_3O_8$ с повышенными энергетическими характеристиками для работы в импульсных режимах.

Электроды готовили по технологии включающей перемешивание активных компонентов в сухом виде, пропитку полученной массы этиловым спиртом в процессе перемешивания и введение водной суспензии фторопласта. Затем активная масса подвергалась сушке и прокатке на вальцах до толщины 200 мкм. Вырубленные диски напрессовывались на алюминиевый токоотвод давлением 1 кгс/см², активная поверхность электрода составляла 1 см². Полученные электроды перед сборкой подвергались дополнительной сушке в вакуумном сушильном шкафу при температуре 150°C. Макетирование литиевых ХИТ проводили в трехэлектродной полипропиленовой ячейке. Для моделирования процесса разряда использовали многоканальный потенциостат-гальваностат ElinsP-20X8. Разряд проводили током 0,5 мА, в конце каждого часа следовал токовый импульс 5 мА протяженностью 300 с.

Установлено, что литий-фторуглеродные электроды, содержащие 20% $Ag_{1+x}V_3O_8$ имеют преимущество над фторуглеродными электродами в импульсном режиме. Так их минимальное напряжение в конце каждого импульса было выше на протяжении практически всего разряда, превосходство по данному параметру достигало 35%. В свою очередь, удельная емкость предложенных катодов выше аналогичного параметра промышленных образцов для ИКД на основе $Ag_2V_4O_{11}$ более чем на 12%.

*А. И. Сажнев, студент;
рук. С. Е. Смирнов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИРИЖАБЛЕЙ

Открытия в областях электрохимии и композитных материалов навело ученых на создание летательных аппаратов на солнечной энергии. Дирижабли, в отличие от самолетов, всегда обладают положительной летучестью и могут парить в воздухе сколь угодно долго. Заменяв взрывоопасный водород нейтральным гелием, используя для создания обшивки современные полимерные материалы, можно увеличить срок эксплуатации дирижабля до нескольких десятков лет. Площадь купола дирижабля измеряется сотнями квадратных метров и по большей части абсолютно свободна. Это идеальное место для того, чтобы разместить комплекс солнечных батарей. Вырабатываемой ими энергии будет достаточно для того, чтобы приводить в движение электромоторы. В качестве накопителя энергии лучше всего подойдут литиевые аккумуляторы, использование которых значительно снизит общие затраты и увеличит ресурс. В ходе исследования была разработана и создана аккумуляторная батарея для беспилотного дирижабля. Батарея была разработана на основе аккумуляторов PanasonicNCR18650B-1. Для оценки емкости аккумуляторов проводились зарядно-разрядные испытания. Вторичные источники тока тестировались при температуре 25°C. Заряд проводился методом CC-CV (первая половина заряда проводится постоянным током, во второй поддерживается постоянное напряжение, при этом ток постоянно снижается до нуля, в данном эксперименте до 10 мА). Ток заряда 1,5 А. Аккумуляторная батарея имеет следующие характеристики: емкость 66 А×ч, напряжение 29,4 В, энергия 1940 Вт×ч, масса 7980 г. Были произведены испытания аккумуляторной батареи в составе макета. Макет предназначен для обеспечения электропитанием целевой нагрузки номинальной мощностью не более 500 Вт, пиковой мощностью не более 1000 Вт и суточным энергопотреблением не более 2600 Вт×ч (из них в темное время суток — не более 1300 Вт×ч) при дневной суммарной величине солнечной радиации не менее 5,51 (кВт·ч)/м² (приведено среднесуточное значение для июля в Московском регионе). Испытание макета заключалось в проверке характеристик отдельных элементов макета в условиях наземной эксплуатации.

*В. А. Калачев, А. С. Подъячева, студенты;
рук. И. А. Пуцылов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ЛИТИЙ – ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

На сегодняшний день сложно представить жизнь современного общества без использования автономных источников энергии. Они внедрились во все возможные области развития науки и техники, нашли широкое применение как для питания электронной аппаратуры, применяясь, не только для научных и медицинских целей (космические спутники, ультразвуковые расходомеры, электрокардиографы, кардиостимуляторы и т. д.), но и для повседневной жизни людей (телефоны, фотоаппараты, часы, некоторые детские игрушки и многое другое). Одними из самых перспективных первичных источников тока считаются литиевые. Они не только обладают высокой удельной энергией, широким интервалом рабочих температур, но и хорошей сохраняемостью, а, следовательно, длительным сроком службы. Сегодня создается новое поколение литиевых источников на базе полимерных электролитов. Настоящая работа посвящена оптимизации состава полимерного электролита, используемого в композиционном катоде литиевого источника тока в качестве связующего и ионопроводящего вещества.

Твердофазные фторуглеродные катоды готовили по оригинальной технологии, смешивали компоненты активной массы в диметилацетамиде ультразвуком, полученный вязкий раствор намазывали на алюминиевый токоотвод и сушили при 120°C до полного удаления растворителя, затем подпрессовывали давлением 1 кгс/см². Площадь готовых электродов составляла 1 см². В процессе экспериментальных исследований было установлено, что удельная емкость электродов при увеличении содержания соли лития в структуре твердополимерного электролита, проходит через максимум. Увеличение концентрации соли свыше 15% приводит к ухудшению механических и адгезионных свойств ТПЭ, это проявляется в частичном осыпании активной массы с поверхности электрода, которое тем больше, чем выше концентрация. Последнее указывает на деградацию связующего свойства ТПЭ с ростом концентрации соли, что, соответственно, приводит к росту внутреннего сопротивления электрода на его основе. Кроме того, следует ожидать и снижения электропроводности ТПЭ при росте концентрации за счет поперечных сшивок полимерных цепей и, как следствие, снижения подвижности катионов соли. Таким образом, оптимальным для достижения максимальной емкости фторуглеродных электродов содержанием солевого компонента в ТПЭ является 15%.

*А. А. Плосконосов, студент;
рук. Н. В. Кулешов, д. т. н., профессор, (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗА ВОДЫ В КОСМИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ

Электролиз воды в настоящее время является основным источником снабжения кислородом герметичных объектов, таких как космические корабли и космические станции. Актуальным направлением в космической индустрии является разработка двигательных установок на основе электролиза воды для малых космических аппаратов (МКА). Задачами таких установок будет являться вывод МКА на рабочую орбиту, а также ее корректировка. Преимуществом будет являться производство водорода на борту космического аппарата, значительный выигрыш в массогабаритных характеристиках, по сравнению с хранением запаса водорода, рассчитанного на весь срок службы, непосредственно на борту МКА. При электролизе под высоким давлением можно отказаться от использования компрессоров. Давление, создаваемое электролизной установкой, будет составлять до 150 атм. Кроме того это позволит значительно снизить нагрузку на газогенератор двигательной установки. Поэтому электролиз воды под высоким давлением является перспективным направлением, и найдет свое применение не только на МКС, но и также в лунной программе. Кислород будет использован для дыхания экипажа базы, а водород вместе с кислородом — для заправки ракет с жидкостными ракетными двигателями.

Для проведения процесса электролиза воды под давлением получен новый полимерный диафрагменный материал, устойчивый к перепадам давления с высокой химической и термической стойкостью к горячим концентрированным растворам щелочи. Исследован метод модифицирования электродов высокоэффективными катализаторами анодных и катодных процессов. На основе полученных данных кафедрой Химии и электрохимической энергетики НИУ «МЭИ» создан и испытан щелочной электролизер с энергозатратами не более 4,5 кВт·ч на нормальный кубический метр водорода.

Применение щелочного электролиза воды по сравнению с твердополимерным является более предпочтительным по следующим причинам:

- работа в широком интервале температур от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$;
- допускается циркуляция электролита только за счет капиллярных сил, без использования циркуляционного насоса.

*М. А. Соловьев, студент; А. С. Пушкарев, И. В. Пушкарева,
М. А. Климова, аспиранты; рук. С. А. Григорьев, д.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЛЕКТОРОВ ТОКА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА ВОДЫ С ТВЕРДЫМ ПОЛИМЕРНЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ

Электролизеры воды с твердым полимерным электролитом (ТПЭ) рассматриваются в качестве одного из основных элементов инфраструктуры водородной энергетики и на протяжении многих десятилетий успешно применяются для производства водорода и кислорода.

Ключевым компонентом электролизера воды является мембранно-электродный блок (МЭБ), состоящий из мембраны ТПЭ и электрокаталитических слоев. Коллекторы тока представляют собой пористые электроды, расположенные между МЭБ и биполярными пластинами. К основным функциям коллектора тока относится обеспечение электропроводности между электрокаталитическим слоем и биполярной пластиной, а также перенос реагентов и продуктов реакции между МЭБ и проточными каналами биполярной пластины [1].

Углеродные материалы (ткань, бумага), широко используемые в топливных элементах с ТПЭ в качестве газодиффузионных слоев, не могут использоваться на кислородном электроде электролизера в силу высокой анодной поляризации и, соответственно, высокой скорости коррозии углеродного материала при выделении кислорода [2]. Титан, в свою очередь, отлично подходит для этой роли, поскольку достаточно устойчив к коррозии в кислой среде и при высокой анодной поляризации, а также относительно легко обрабатывается для различных пористых сред.

В рамках представленной работы были исследованы коллекторы тока, изготовленные из титанового порошка с различной структурой пор. Показано влияние структуры коллектора тока на характеристики электролизера с ТПЭ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-08-01070 А.

Литература

1. **Grigoriev S. A., Millet P., Volobuev S. A., Fateev V. N.** Optimization of porous current collectors for PEM water electrolyzers // *Int. J. Hydrogen Energy*. 2009. V. 34. P. 4968–4973.
2. **Carmo M., Fritz D. L., Mergel J., Stolten D.** A comprehensive review on PEM water electrolysis // *Int. J. Hydrogen Energy*. 2013. V. 38. P. 4901–4934.

Секция 38

ЭКОНОМИКА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

*Председатель секции — к.э.н., доцент Шувалова Д.Г.
Секретарь секции — к.э.н., доцент А.Ю. Амелина*

К. И. Арнольд, студ.; рук. Д. Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В СФЕРЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В настоящее время основной методикой выбора наиболее эффективного инвестиционного проекта является теория денежных потоков, а основным критерием при ней — чистый дисконтированный доход. В качестве нормативных документов, служащих для оценки эффективности проектов, выступают «Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов» (от 21.06.1999 № ВК 477) и методические указания по подготовке стратегического и комплексного обоснований инвестиционного проекта (от 14.12.2013 г. № 741).

Анализ данных методик показывает, что их применение для выбора наиболее эффективных проектов в сфере инновационной электроэнергетики является недостаточным, требуется учет социальных, экологических, технологических, региональных и инновационных факторов. Кроме того первая методика не учитывает всех поправок на риск, связанных с внедрением инноваций. Вторая определяет норму дисконта, как средневзвешенную стоимость капитала, в энергетике при использовании данного метода могут возникнуть трудности, связанные с наличием других источников финансирования помимо учитываемых в WACC.

Таким образом требуется разработка новых подходов к оценке рассматриваемых проектов.

В работе предложена модель расчета ЧДД, учитывающая поправки на риск, связанные с внедрением инновационной интеллектуальной энергосистемы, региональные особенности, социальные факторы. Применение методики позволит повысить точность прогноза денежного потока примерно на 5%, что выявляется при оценке выполнения проекта на каждом этапе его реализации. Учет регионального фактора может оказать влияние на возможность применения технологий, которые в традиционной энергетике являются экономически неэффективными, например, цифровые технологии.

Предложенные дополнения методики позволяют проводить сравнение проектов в энергетике с инвестициями в других отраслях.

*А. С. Чеботаев, студент;
рук. А. Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЗАМЕНЫ УЧАСТКА РАЗВОДЯЩЕЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Тепловая энергетика, являющаяся отраслью российской энергетики, обеспечивает теплом здания для технологических и коммунально-бытовых нужд потребителей (а именно предоставляет потребителям отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение). Около 50% всех эксплуатационных затрат в системах теплоснабжения России может быть отнесено на обслуживание тепловых сетей. Протяженность тепловых сетей, нуждающихся в ремонте и реконструкции — 45 021 км (26% суммарной протяженности всех тепловых сетей в России). Протяженность ветхих тепловых сетей, имеющих 100% физический износ — 32 329 км (19%) [1].

В ходе работы было проведено технико-экономическое обоснование выбора варианта модернизации участка тепловой сети государственного автономного учреждения здравоохранения города Москвы «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины Департамента здравоохранения города Москвы». Для этого были проанализированы варианты модернизации участка тепловой сети на трубопровод системы ИЗОПРОФЛЕКС и трубопровод с пенополиуретановой изоляцией (ППУ).

Таблица 1. Техничко-экономические показатели для сравнения

Показатели	ИЗОПРОФЛЕКС	ППУ изоляция
Тепловые потери, ккал/ч	19 200	9 600
Стоимость обслуживания, тыс. руб./год	0	0
Срок службы, лет	49	30
Капитальные затраты на материалы, тыс. руб.	4 475	23 018
Амортизация, тыс. руб.	91	581
ЧДЭ, тыс. руб.	14 821	605
Срок окупаемости, лет	1,5	25,4

В результате проделанной работы можно сделать вывод, что перекладка трубопровода с учетом современных технологий из сшитого полиэтилена экономически более оправдана, по сравнению с ППУ изоляцией. При этом срок окупаемости проекта составляет примерно 1,5 года.

Литература

1. Концепция развития теплоснабжения в России, включая коммунальную энергетику, на среднесрочную перспективу — Минэнерго РФ, 2002

Н. А. Черняускене, студ.;
рук. А. Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАТРАТ НА ТЭЦ

По действующим сегодня правилам, распределение топлива должно происходить в соответствии с методикой, утвержденной Министерством энергетики РФ. Единая методика до настоящего времени не утверждена [1]. В данных условиях энергокомпании выбирают метод распределения затрат топлива самостоятельно [2].

Теплофикация — одно из ключевых направлений развития энергетической политики РФ. Проведение анализа методов распределения затрат между двумя энергопродуктами с учетом значимых особенностей работы основного энергооборудования в течение года и выявление ключевых показателей, определяющих конечный выбор наиболее подходящего, является актуальным направлением с позиции обеспечения конкурентоспособности производства ТЭЦ.

Целью работы является: выявление факторов, которые определяют выбор метода распределения затрат между электрической и тепловой энергией Казанской ТЭЦ-3 и Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1) в заданных условиях на основе анализа их режимов функционирования.

Проанализировав результаты проведенных расчетов распределения затрат различными методами, можно выделить следующие основные показатели, оказывающие наибольшее влияние на величину себестоимости конечных продуктов, вырабатываемых на ТЭЦ:

- объемы выработки электрической энергии и тепловой энергии объектом генерации в год;
- вид используемого топлива, его характеристики (в большей степени это теплопроводность топлива) и стоимость;
- климат региона, в котором расположена ТЭЦ (в том числе, длительность каждого из климатических сезонов) (наличие у Казанской ТЭЦ-3 летнего периода работы создает для нее убыточный период);
- степень использования номинальной мощности основного энергетического оборудования в различные сезоны (например, Казанская ТЭЦ-3 способна получать доход лишь при использовании установленной мощности выше 70% в зимний период и ниже 55% — в летний), наличие вынужденной генерации.

Литература

1. «Стратегии развития теплоснабжения и когенерации в Российской Федерации на период до 2020 года» [Электронный ресурс] URL: <http://www.energsovet.ru/> (дата обращения: 25.09.2017);
2. **Гительман Л. Д., Ратников Б. Е.** Энергетический бизнес: Учебник. — 3-е изд. Перераб. И доп. — М.: Издательство «Дело» АНХ, 2008 — 416 с.

*А. Н. Дятлов, студент;
рук. Д. Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА МИНИМИЗАЦИИ ПЕРЕКРЕСТНОГО СУБСИДИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ КОМПАНИЯХ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРИСОЕДИНЕНИИ

Постепенное снижение объема перекрестного субсидирования является Стратегией развития электросетевого комплекса Российской Федерации [1]. Регулярно ведется контроль выполнения мер, направленных на ликвидацию перекрестного субсидирования: поэтапное снижение к 2022 г. объемов перекрестного субсидирования до 45–50 млрд руб. в текущих ценах; ликвидация «последней мили»; введение социальной нормы потребления электроэнергии, как механизма поэтапного доведения тарифов до экономически обоснованного уровня; исключение затрат «моносетей» из «котлового» тарифа. Сохранение перекрестного субсидирования, а также медленная ее ликвидация ведет к негативным сторонам этого явления:

- уход крупных промышленных потребителей от ЕНЭС,
- рост тарифной нагрузки для остальных потребителей,
- снижение эффективности энергосетевых компаний,
- необходимость резерва действующих мощностей.

Поиск эффективных мер минимизации перекрестного субсидирования эффективно скажется на экономической составляющей энергетической отрасли и экономики России в целом.

В данной работе разработана методика снижения влияния последствий перекрестного субсидирования при технологическом присоединении за счет оптимального выбора величины заявленной максимальной мощности заявителем льготной категории (мощность энергопринимающих устройств составляет до 15 кВт для физических лиц и до 150 кВт для юридических лиц) и за счет загрузки сети этой мощностью. Данные меры ведут к прямой зависимости компенсации издержек на строительство инфраструктуры сетевой организации, не возвращенным через выпадающие доходы.

Применение данной методики позволит электросетевым компаниям существенно снизить величину перекрестного субсидирования технологического присоединения, тем самым направив прибыль от тарифа на передачу на реконструкцию и ремонт существующей инфраструктурной сети, повышая ее надежность и безопасность.

Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 03.04.2013 г. № 511-р Стратегия развития электросетевого комплекса Российской Федерации

Н. Е. Гаврилова, студ.;
рук. В. В. Бологова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА СОЛНЕЧНО-БИОГАЗОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Для создания наиболее благоприятных условий экономического развития России необходимо развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Это определяет актуальность всех работ, связанных с разработкой проектов по использованию ВИЭ.

В работе был рассмотрен проект солнечно-биогазовой электростанции. Инвестором проекта является фермер, владеющий молочной фермой. Продуктами данного проекта являются электроэнергия и органические удобрения. Постройка станции обеспечивает фермеру экономию текущих эксплуатационных затрат в результате снижения расходов на покупку электроэнергии из централизованной системы энергоснабжения и дополнительный доход от продажи органических удобрений и электроэнергии, вырабатываемой с использованием ВИЭ. Отдельное внимание было уделено проблемам осуществления данного проекта. Одним из главных недостатков является невозможность реализации мощности и электроэнергии на ОРЭМ по правилам рынка [1].

Сам по себе проект инновационный, и основным его преимуществом перед другими электростанциями, работающими на ВИЭ, является относительная стабильность производства электроэнергии. В связи с этим при расчете денежных потоков для данного проекта предпринималось сравнение с оптовыми ценами. В таблице 1 представлено процентное соотношение отечественного и иностранного оборудования для этого проекта.

Таблица 1. Иностранное и отечественное оборудования для проекта

Солнечные коллекторы вакуумные с концентраторами, углекислотная турбина	Зарубежное оборудование	32%
Дутьевой вентилятор, биогазовая установка, система АСУ ТП, жаротрубный котел	Отечественное оборудование	68%

В результате был проведен расчет показателей экономической эффективности инвестиционного проекта в целом. Оценка этих показателей позволила сделать вывод, что проект эффективен: дисконтированный срок окупаемости проекта составил 4,72 года, чистый дисконтированный доход — 393,55 млн руб., индекс доходности — 4,42%.

Литература

1. Постановление П.Р.Ф. от 28 мая 2013 г. № 449 «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности».

А. И. Грачева, студ.; рук. Д. Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДОЛИ ТАРИФА ПАО ФСК ЕЭС В ЦЕНЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВОЛГО-ОКСКОГО РЕГИОНА

Представленная работа посвящена вопросам изучения механизмов тарифообразования. Изучение механизма трансляции цен и определение сетевой составляющей в тарифе для конечного потребителя дает возможность выявить пути снижения затрат, включенных в тариф на электроэнергию для конечных потребителей.

Целью данной работы является определение доли сетевой составляющей, а именно, тарифа на услуги ПАО «ФСК ЕЭС», в общем тарифе на электроэнергию.

По расчетам было выявлено, что во входящих в Волго — Окской ПМЭС подразделениях доля ПАО «ФСК ЕЭС» составила в среднем по региону за период 01.07.2014–30.06.2015 — 5,76%, за 01.07.2014–30.06.2015 — 5,64% и 01.07.2016–30.06.2017 — 5,53%. Следует отметить, что среднестатистическим значением является 6%. [1]

Во избежание роста тарифа на передачу электроэнергии ФАС необходимо осуществлять контроль над естественно монопольным сектором электроэнергетики. Для сетевых компаний резервом является снижения потерь при передаче электрической энергии.

Кроме того, обеспечение постоянного условия «сбалансированности» котла для анализа отклонения выручки от утвержденной необходимой валовой выручки, а также учет и реализация наиболее успешных инвестиционных программ, поскольку в тариф на передачу электроэнергии эта составляющая оказывает сильное влияние.

В соответствии с инвестиционной программой в 2015 году было направлено 484,19 млн руб., что составляет 0,28% от выручки ФСК [2]. Следовательно, утвержденные тарифы на передачу электроэнергии, ФСК учитывает и принятый процент от выручки, идущий на научно-исследовательские разработки, реализуемые АО «НТЦ «ФСК ЕЭС», чтобы обеспечит необходимый объем денежных средств для своего дальнейшего развития и поддержания стабильного экономического развития страны.

Литература

1. **Интернет-портал** «EnergyBase» [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://energybase.ru/tariff/electricity/>. Дата обращения: 25.03.17.
2. **Официальный сайт** ПАО «ФСК ЕЭС» / Годовой отчет на 2015 год // [Электронный ресурс] — Режим доступа: http://www.fsk-ees.ru/shareholders_and_investors/disclosure_of_information/annual_report. Дата обращения: 25.03.17.

*К. М. Исхакова, студ.;
рук. Д. Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЛИЯНИЯ РЫНОЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ЦЕНЫ ОПТОВОГО РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ

Электрическая энергия и тепло — это основа жизни каждого человека в современном мире. Тариф на оплату электрической энергии рассчитывается местным органом исполнительной власти в области государственного регулирования тарифов. Величина тарифа складывается из нескольких составляющих.

Одной из значимых категорий в энергетике является структура тарифа. Тариф на электрическую энергию включает электроэнергию и мощность на ОРЭМ, инфраструктурные составляющие (коммерческая и технологическая), бытовую надбавку [1]. В зависимости от стоимости услуг каждой составляющей, формируется стоимость тарифа для конечного потребителя. В связи с этим можно смело сказать, что чем ниже стоимость услуг каждой из компаний по видам деятельности, тем меньше стоимость электрической энергии в целом.

В данной работе рассматривается компания АО «ЦФР» и стоимость услуг данной организации при проведении финансовых расчетов между участниками оптового рынка электрической энергии. Размер платы за комплексную услугу АО «ЦФР» составляет 0,318 руб./МВтч.

Проведя расчет по определению составляющей АО «ЦФР» в структуре тарифа видно, что наименьшая доля в цене конечного потребителя и в 2015, и в 2016 гг. была в Чукотском автономном округе.

Также проводится сравнение средней заработной платы в АО «ЦФР» и средней заработной платы по всем регионам РФ с целью выявления региона с наименьшей зарплатой и рассмотрения возможности переноса данной компании именно туда. Самая низкая заработная плата в Орловской области (16 830 руб.), а самый высокий уровень в г. Москва (66 880 руб.). Исходя из того, что сотрудники АО «ЦФР» получают заработную плату в 2 раза превосходящую средний заработок по Москве, можно сделать вывод о том, что расположение данной компании в таком крупном городе, как Москва, неэффективно. Возможно, следует перенести деятельность АО «ЦФР» в другой регион с меньшим уровнем заработной платы, что повлечет снижение доли организации в структуре тарифа, и, как следствие, сокращение уровня тарифа на электроэнергию у конечных потребителей.

Литература

1. **Л. С. Беляев, С. В. Подковальников** «Рынок в электроэнергетике: Проблемы развития генерирующих мощностей» — Новосибирск, Наука, 2014 — 250 с.

К. Д. Иванов, студ.; рук. В. В. Бологова, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА НА ОСНОВЕ СИСТЕМАТИЗАЦИИ И РАНЖИРОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ

Черная металлургия — одна из наиболее энергоемких отраслей промышленности. Доля затрат на топливно-энергетические ресурсы (ТЭР) в общих заводских затратах на производство продукции составляет более 30%. Наиболее крупными потребителями топлива на производствах являются доменные и прокатные производства. К электроемким производствам относятся — электросталеплавильные производства, кислородные станции, а основной потребитель тепловой энергии — коксохимическое производство [1]. Это определяет актуальность решения задачи повышения эффективности использования ТЭР на предприятиях черной металлургии.

В 2015 году доля потребления ТЭР в черной металлургии составила 10% от общего расхода топлива, 15% электроэнергии, расходуемой промышленностью и 5,8% от общего потребления природного газа в экономике России [2].

В работе была разработана модель, учитывающая зависимость расхода ТЭР от внедрения различных энергосберегающих мероприятий на переделах металлургического комбината (МК) с целью снижения расхода ТЭР и изменения выработки электроэнергии на ТЭЦ-ПВС за счет дополнительного использования потенциала ВЭР.

В качестве факторов, влияющих на результаты оценки эффективности реализации предлагаемых мероприятий, учитывались следующие — зависимость между расходом ТЭР на производстве, результатом производства и величиной ВЭР при реализации этих мероприятий, зависимость между ВЭР, выработкой электроэнергии на ТЭЦ-ПВС и снижением потребления ТЭР извне, изменение энергоемкости стали.

Данная модель была апробирована с использованием программно-информационной системы «ОптиМет» для усредненного МК, был проведен отбор энергосберегающих мероприятий на основании оценки их экономической эффективности. В результате реализации этих мероприятий энергоемкость стали снизилась на 3%, срок окупаемости 5 лет.

Литература

1. **Я. М. Щелоков** Черная металлургия: проблемы, технологии, энергоемкость: учебно-методическое издание. Екатеринбург: УрФУ, РУОАИН им. А. М. Прохорова, 2012. 243 с.
2. **Н. И. Данилов, Я. М. Щелоков, В. Г. Лисиенко** Цветная металлургия: проблемы, технологии, энергетические системы Учебное пособие. Екатеринбург: УрФУ, ГБУ СО «Институт энергосбережения», 2016. 84 с.

*А. Д. Крашенинникова, студ.;
рук. В. А. Щевьева, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ НА ПЕРЕВОД ГВС С ОТКРЫТОЙ СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ЗАКРЫТУЮ С АВТОМАТИЗАЦИЕЙ ИТП В МО СЕВЕРОДВИНСК

Актуальность темы данной работы связана с тем, что в соответствии с требованиями п. 9 статьи 29 Федерального закона от 27.07.2010 № 190-ФЗ «О теплоснабжении» [1], с 1 января 2022 года использование централизованных открытых систем теплоснабжения для нужд горячего водоснабжения, осуществляемого путем отбора теплоносителя на нужды горячего водоснабжения, не допускается.

Результатом работы является разработка проекта перевода ГВС с открытой схемы подключения потребителей на закрытую с автоматизацией ИТП в МО Северодвинск и определение эффективности инвестиций [2] на перевод.

Главными особенностями системы ГВС МО Северодвинск являются: неспособность теплотребляющих установок потребителей принимать теплоноситель с температурой $>100^{\circ}\text{C}$; циркуляция в системе теплоснабжения повышенного расхода теплоносителя, что снижает располагаемый напор на отдаленных потребителях; средний срок эксплуатации тепловых сетей — 28 лет.

Для определения эффективности инвестиций автором был оценен размер необходимых инвестиций в размере 3580 млн руб., которые необходимы для модернизации 2934 ИТП, а также для реконструкции тепловых сетей.

Экономия тепловой энергии происходит за счет поддержания комфортной температуры воздуха в помещениях, ликвидации весенне-осенних перетоков и поддержания требуемой температуры горячей воды в системе ГВС жилых, общественных и производственных зданий, которая в год составляет 172 623 тыс. Гкал (в текущих ценах 496 672 тыс. руб.).

Чистый доход проекта составил 581 475 тыс. руб., ЧДД — (–1 474 783) тыс. руб., ВНД 2%.

Тем не менее мероприятие обязательно к исполнению, согласно требованиям п. 9 ст. 29 Федерального закона от 27.07.2010 № 190-ФЗ «О теплоснабжении» [1].

Литература

1. **Федеральный закон** от 07.12.2011 № 416-ФЗ (ред. от 29.12.2015) «О водоснабжении и водоотведении».
2. **Щевьева В. А.** Финансирование инновационных проектов и экономическая оценка инвестиций. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008

А. А. Лихов, студент; рук. Д. Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ДИВЕРСИФИКАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭНЕРГОСБЫТОВОЙ КОМПАНИИ

В данной работе произведена разработка методических рекомендаций по диверсификации деятельности энергосбытовой компании.

Предпринимательское пространство энергосбытовых компаний по основному виду деятельности на современном рынке электроэнергии является ограниченными узкими ценовыми и нормативными зонами. В таких условиях для успешного существования в возрастающей конкурентной среде и снижения высоких финансовых рисков приходится находить дополнительные виды предпринимательской деятельности [1]. Поэтому разработка методических рекомендаций по диверсификации деятельности энергосбытовой компании, отвечающих современным условиям ее функционирования, является весьма актуальной.

В данной работе произведена разработка методических рекомендаций по диверсификации деятельности энергосбытовой компании, достижение которой реализуется за счет выхода на новые рынки товаров и услуг в рамках оказания дополнительных платных сервисов. Стратегия выхода на новые рынки предполагает деятельность в качестве независимой энергосбытовой компании, продажу энергетических ресурсов, оказание консалтинговых и иных услуг.

Диверсификация бизнеса энергосбытовой компании в рамках оказания дополнительных платных услуг включает в себя внедрение системы энергоменеджмента, рост энергоэффективности и разработка энергосберегающих технологий, повышение операционной эффективности, внедрение энергосервисных контрактов.

В условиях острой конкуренции на энергетических рынках диверсификация предпринимательской деятельности является источником конкурентных преимуществ энергосбытовой компании. Внедрение предложенных мероприятий повлекло за собой рост выручки на 13%, увеличение издержек на 4%, ожидаемый рост прибыли на 9%.

Оценки проводились на примере компании ПАО «Мосэнергосбыт» с применением инструментов бюджетирования, что позволило корректировать расчеты с изменением хода процесса диверсификации.

Применение разработанной методики позволит энергосбытовым организациям переориентироваться на новый перспективный источник получения доходов.

Литература

1. **Вершинин Д. В.** Автореферат диссертации «Оценка перспективной деятельности энергосбытовых компаний на рынке сервисных услуг».

А. Н. Лыткина, студ.; рук. А. Г. Зубкова, к.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ФОРСАЙТА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТРАТЕГИИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) НА ПРИМЕРЕ УСТЬ-ЯНСКОГО РАЙОНА

Большая часть территории Якутии (60%, 17 улусов) относится к зоне децентрализованного электроснабжения на базе источников электроэнергии малой мощности, преимущественно дизельных электростанций, что значительно удорожает стоимость электроэнергии для децентрализованных потребителей и требует компенсации производителям части затрат из бюджетных источников. Средняя себестоимость электроэнергии, вырабатываемой дизельной электростанцией, по состоянию 2009 г. составила 18,75 руб./кВт, для сравнения себестоимость дизельной генерации РФ — 10,2 руб./кВт. Особые природно-климатические условия, обширность территории, малая плотность энергопотребления делают невозможным обеспечение северных потребителей от централизованной системы электроснабжения.

Для предварительного анализа сравниваются три возможные стратегии электроснабжения методом анализа иерархий (МАИ). На Рис. 1 представлена иерархия влияния для электроснабжения Усть-Янского улуса.



Рис. 1. Иерархия влияния для электроснабжения Усть-Янского улуса

В результате сравнения трех стратегий электроснабжения по методу анализа иерархий получили, что наиболее предпочтительным вариантом является применение плавучих атомных тепловых электростанций.

Стратегии	ДЭС	ПАТЭС	ГСВУ
Нормир. вектор	0,225	0,45	0,325

В дальнейшем стратегии планируется сравнить методом Форсайт.

В данном случае МАИ — это подготовительный этап для Форсайта. Определяется то, что должно быть в фокусе внимания при формировании опросов стейкхолдеров.

А. В. Пихур, студент; рук.: А. Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ АУДИТА ФОРМИРОВАНИЯ ФИНАНСОВЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОДУКЦИИ ТЕПЛОВЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ

Повышение качества аудиторской деятельности является основным направлением реформирования современного аудита в России [1]. Большое внимание уделяется разработке стандартов проведения аудиторской проверки, контролю за их использованием и оценке качества аудита на всех его этапах. Электроэнергетика относится к числу отраслей, имеющих серьезную отраслевую специфику, что необходимо учитывать при проведении аудиторской проверки.

В данной работе разработана методика аудита формирования финансовых результатов от реализации продукции ТЭС, включающая перечень аналитических процедур по предварительному ознакомлению с деятельностью аудируемого лица, необходимых для дальнейшего проведения аудиторской проверки формирования финансовых результатов от реализации продукции ТЭС, и предложены формы рабочих документов аудитора для представления результатов проведенных аналитических процедур. Аудиторским компаниям предлагается разрабатывать внутрифирменные стандарты по проведению аудита финансовой (бухгалтерской) отчетности электростанций. В частности, представляется целесообразной разработка следующих внутрифирменных стандартов:

1. Предварительное ознакомление с деятельностью электростанции.
2. Оценка системы внутреннего контроля на электростанции и определение аудиторского риска и его компонентов.
3. Определение уровня существенности при аудите финансовой (бухгалтерской) отчетности электростанции.
4. Планирование аудита финансовой (бухгалтерской) отчетности электростанции.
5. Процедуры аудита финансовой (бухгалтерской) отчетности электростанции по существу.
6. Формирование и выражение мнения аудитора по результатам аудита финансовой (бухгалтерской) отчетности электростанции.

Применение данной методики позволит существенно снизить затраты времени аудитора на аудиторскую проверку финансовых результатов энергетической компании.

Литература

1. Аудит: Учебник для ВУЗов / В.И. Подольский, А.А. Савин, Л.В. Сотникова Л.В. и др.; Под ред. проф. В.И. Подольского. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2015. — 583 с.

Н. Г. Самарин, студ.; рук. Д. А. Фрей, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ОБУЧАЮЩИХ МОДЕЛЕЙ

В современных условиях практически каждое российское предприятие вынуждено интенсифицировать свою деятельность по энергосбережению. Основываясь на накопленном опыте можно предложить две концепции энергетического планирования: применение формализованных или интерактивных методов. Выбор концепции требует серьезного обоснования, каждая из них имеет свои достоинства и недостатки [1].

Но любая из концепций требует решения таких важных проблем как снижение трудоемкости планирования и обеспечение требуемого качества получаемых оценок экономической эффективности.

В работе [2] предложено применение «обучающих» моделей для выявления и интеграции результатов и эффектов внедрения энергосберегающих мероприятий, однако на сегодняшний день отсутствуют оценки его использования с точки зрения трудоемкости и точности расчетов по сравнению со статическими методами оценки, применяемыми энергоменеджерами на предприятиях.

Автором получены оценки по ряду энергосберегающих мероприятий статическими методами и приростным методом с применением обучающих моделей для формирования денежных потоков энергосберегающих инвестиционных проектов.

В случае замены силовых трансформаторов статические методы показывают окупаемость проекта на горизонте 30 лет, по дисконтированным денежным потокам проект не окупается, а при оценке приростным методом отрицательный финансовый результат снижается на 3,8%. При установке компенсаторов реактивной мощности разница в значениях ЧДД, рассчитанного вышеуказанными методами, составила 25%. Срок окупаемости — менее года. При замене источников освещения на светодиодные разница в ЧДД составила 80%, а срок окупаемости изменился на 25% (с 2,1 на 2,8 года).

Использование приростного метода с применением обучающих моделей существенно влияет на оценку проектов энергосбережения.

Литература

1. **Флад Р.Л., Джексон М.С.** Обзор интерактивного планирования An Overview of Interactive Planning. — URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/obzor-interaktivnogo-lanirovaniya#ixzz4OAUsrOWp>.
2. **Зубкова А.Г., Фрей Д.А.** Методологические основы экономического моделирования энергосберегающих мероприятий // Вестник РАЕН. — 2015. — Т. 15, № 6. — С. 135–141.

*С. В. Секрет, студент;
рук. Д. Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ВЛИЯНИЕ ЛЬГОТНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ НА ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ КОМПАНИЙ РФ

Электроэнергетика является одной из важнейших отраслей российской экономики. Ее надежное и эффективное функционирование — основа для развития экономики страны и неотъемлемый фактор обеспечения цивилизованных условий жизни всех граждан.

С 2009 г. со стороны государства проводится политика, направленная на введение поэтапных льгот для заявителей при технологическом присоединении их объектов к электрическим сетям сетевой компании и на упрощение доступа заявителей к электросетевой инфраструктуре. Размер платы для заявителей [1], максимальной мощностью до 15 кВт, составляет не более 550 рублей. При этом минимальный объем строительства (перекидке к жилому дому) в среднем стоит порядка 17 тыс. руб.

С 01.10.2017 года введена льгота для заявителей максимальной мощностью до 150 кВт, исключая из платы за технологическое присоединение затраты на строительство объектов электрических сетей.

Затраты, сетевой организации на присоединение льготных заявителей, включаются в тариф на передачу электрической энергии [2], и, в конечном счете, за заявителей, пользующихся льготой, платит конечный потребитель электрической энергии.

Для электросетевой компании центральной части РФ была просчитана модель снижения финансовых потерь от льготного присоединения путем пересмотра критериев отнесения потребителей к льготным категориям и их сокращения, перераспределения потоков средств между видами деятельности.

В работе производится оценка результатов проводимой со стороны государства политики обеспечения доступности к электросетевой инфраструктуры посредством введения льгот, а также влияние ее на финансово-экономические параметры электросетевых компаний Российской Федерации.

Литература

1. **Постановление Правительства Российской Федерации** от 27.12.2004 № 861 «Об утверждении Правил технологического присоединения энергопринимающих устройств (энергетических установок) юридических и физических лиц к электрическим сетям» (в действующей редакции);
2. **Постановление Правительства Российской Федерации** от 29.12.2011 № 1178 «О Ценообразовании в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике» (в действующей редакции).

К. А. Шавлинская, студ.;
рук. Н. Л. Кетоева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВЫМИ РИСКАМИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПАНИЯХ

Одним из наиболее значимых активов современной организации является кадровый (человеческий) ресурс. Однако, использование человеческих ресурсов связано с неизбежным возникновением различных кадровых рисков, которые негативно влияют на деятельность организации. Проблематика управления кадровыми рисками в настоящее время недостаточно исследована, существующие модели требуют дальнейшей проработки, так как не в полной мере решают проблемы, связанные с квалификацией персонала.

Таким образом, развитие модели управления человеческими ресурсами является приоритетным направлением экономической науки.

В работе рассматривается оценка эффективности управления кадровыми рисками, на основе результатов которого в подсистемах управления персоналом, наибольшее влияние на результирующие факторы оказывает подсистема развития персонала [1]. Соответственно наибольший экономический эффект дает совершенствование функционирования данной подсистемы.

Данная модель основана на трех ключевых аспектах развития персонала:

1. Повышение квалификации персонала.
2. Переквалификация персонала.
3. Формирование кадрового резерва.

На базе проведенного анализа разработана модель, определяющая эффективность развития персонала. Апробация модели проведена на примере энергетических компаний, сформулированы критерии эффективности функционирования подсистемы применительно к представленной модели.

Литература

1. **Зубарева А. А.** Кадровые риски в нефтегазовых компаниях: Дисс. ... канд. экон. наук. — М., 2013. — 149 с.
2. **Кибанов А. Я.** Оценка экономической и социальной эффективности управления персоналом организации: Учебно-практическое пособие — М.: Проспект, 2012. — 11–12 с.
3. **Митрофанова А. Е.** Управление кадровыми рисками в работе с персоналом организации: Дисс. ... канд. экон. наук. — М., 2013. — 182 с.

Е. И. Рукина, асп.; рук. Д. Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ТРАНСАКЦИОННЫХ ИЗДЕРЖЕК В СТРУКТУРЕ СЕБЕСТОИМОСТИ ЭНЕРГОПРЕДПРИЯТИЯ

Институциональная среда (ИС) — это сложная взаимоувязанная комплексность экономических институтов, создающая определенные ограничения при взаимодействии. Цели и задачи институционального анализа зависят от уровня исследования — макро- или микроуровень.

Макроуровень — законодательные и нормативные акты, тогда как *микроуровень* — это совокупность субъектов экономики, прямо воздействующих в процессе осуществления деятельности. При анализе микросреды, внимание уделяется величине транзакционных издержек (ТИ) и возможным способом их снижения.

С экономической точки зрения, сущность ТИ — присвоение индивидуальных ценностей набора благ для каждого участника договорных отношений. ТИ выступают основой ограничений для обмена и состоят из издержек, которые проявляются в ходе рыночных отношений и потому поддаются измерению. [1] Наиболее распространенная классификацией является: издержки поиска информации, ведения переговоров, заключения контрактов.

Для энергопредприятия ТИ — это в том числе «стоимость регулирования». По результатам расчетов видно, что ТИ возможно оценить по статьям затрат необходимой валовой выручки. Расчеты проведены на примере энергосетевой компании за два года.

Таблица 1 — Доля транзакционных издержек, (%)

Наименование издержек	Удельный вес ТИ	
	2014	2015
ТИ поиска информации	0,437	0,436
ТИ ведения переговоров	0,534	0,524
ТИ заключения контрактов	0,848	0,847
Итого	1,819	1,807

При кажущейся незначительность величины ТИ, суммарное их значение в себестоимости сопоставимо с общехозяйственные затраты, несмотря на их видимый малый размер при оценке доли в каждой статье себестоимости.

По итогам работы сделан вывод о необходимости трансформации организационной структуры в зависимости от характера и величины ТИ и выявлена возможность типизации данных изменений.

Литература

1. Норт Д. Институты и экономический рост: историческое введение // Тезис. — Т. 1. — Вып. 2. — М., 1993. — С. 73

*Д. А. Смирнова, соиск.;
рук. Д. Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТЬЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ В РАМКАХ КОНЦЕССИОННЫХ СОГЛАШЕНИЙ

Одной из наиболее распространенных форм государственно-частного партнерства (ГЧП) является концессионное соглашение (КС). По КС одна сторона (концессионер) обязуется за свой счет создать и (или) реконструировать определенное этим соглашением имущество, право собственности на которое принадлежит или будет принадлежать другой стороне (концеденту), осуществлять деятельность с использованием (эксплуатацией) объекта концессионного соглашения, а концедент обязуется предоставить концессионеру на срок, установленный этим соглашением, права владения и пользования объектом концессионного соглашения для осуществления указанной деятельности [1].

Основной целью участия частной стороны (концессионера) в концессионном соглашении является получение дополнительной прибыли. В энергетической сфере благодаря тарифному регулированию исключается возможность завышения тарифа. Рассмотрев принципиальную схему калькуляции себестоимости в энергетике, было выявлено ряд статей, на которые предприятие может воздействовать в рамках действующего законодательства с целью выявления потенциала управления себестоимостью.

В таблице 1 приведен пример анализа чувствительности тарифа для тепло-снабжающей организации на 2017 год при снижении потерь тепловой энергии при передаче в результате модернизации при концессии.

Таблица 1. Изменение тарифа при снижении тепловых потерь (шаг — 10%)

Потери, %	7,58	6,82	6,06	5,31	4,55	3,79	3,03
Тариф, руб./Гкал	1774,68	1760,23	1746,06	1732,08	1718,33	1704,79	1691,43

Данный расчет демонстрирует один из способов воздействия на себестоимость энергетической продукции.

Таким образом, в работе предложена структурная модель управления себестоимостью продукции энергетического предприятия, действующего в рамках концессионного соглашения, включающая в себя информацию об источниках издержек, что позволяет влиять на итоговый показатель эффективности организации.

Литература

1. **Федеральный закон Российской Федерации** от 21.07.2005 № 115-ФЗ «О концессионных соглашениях».

О. В. Стрижакова, студ.; рук. Д. Г. Шувалова, доц., к.э.н., (НИУ «МЭИ»)

НОРМА ДИСКОНТА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ β -КОЭФФИЦИЕНТА

Вопросы модернизации и развития систем теплоснабжения остро стоят в условиях российской действительности, особенно при внедрении элементов конкуренции на этот рынок. В данной работе проведено технико-экономическое обоснование присоединения к системе теплоснабжения г.о. Тольятти новых районов перспективной застройки. Также обоснованы закрытие двух котельных и перенос нагрузки на Тольяттинскую ТЭЦ.

Для компании ПАО «Т Плюс», единой теплоснабжающей организации г.о. Тольятти, норма дисконта принимается в среднем 15%. В работе произведен пересчет нормы дисконта, как средневзвешенной стоимости капитала для уточнения эффективности инвестиционных проектов, оговоренных ранее.

Норма дисконта, в настоящее время, является основным экономическим нормативом, используемым при оценке эффективности инвестиционного проекта. Она отражает максимальную годовую доходность альтернативных и доступных направлений инвестирования и одновременно минимальные требования по доходности, которые инвестор предъявляет к проектам, в которых он намерен участвовать [1].

Таблица 1 Определение нормы дисконта.

Показатель	Формула или обозначение	Значение	Ед. изм.
Средневзвешенная стоимость капитала	$EWACC = rcgc + rzgz$	14,28	%
Доля собственного капитала	gc	52,6	%
Стоимость собственного капитала	$rc = rf + \beta (rm - rf)$	19,87	%
Безрисковая ставка дохода	rf	8,36	%
Рыночная премия за риск	$(rm - rf)$	11	%
β -коэффициент акции	β	1,0336	–
Доля заемного капитала	gz	47,4	%
Стоимость заемного капитала	rz	8,08	%

β -коэффициент отражает рискованность ценных бумаг компании по отношению к инвестированию в среднерыночный пакет акций. Определяется как коэффициент линии регрессии между историческими данными о доходности акций компании по отношению к доходности рыночного портфеля (индекс РТС).

На основании найденной нормы дисконта, был произведен перерасчет и обоснована эффективность проектов.

Литература

1. **Щевьева В. А.** Финансирование инвестиционных проектов и экономическая оценка инвестиций: Учеб. пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008. — 232 с.

А. В. Торопцева, студ.; рук. Е. И. Рукина, асс. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ И ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ГУП «МОСКОЛЛЕКТОР»

Актуальность энергосбережения в условиях развития экономики страны обусловлена резким ростом объема потребления энергетических ресурсов для производства электроэнергии и теплоты.

Деятельность предприятия ГУП «Москоллектор» направлена на обеспечение технических условий для эксплуатации всех находящихся в коллекторах связей.

В данной работе рассматривалась действующая программа повышения энергоэффективности и энергосбережения ГУП «Москоллектор».

В рамках проведения программы энергосбережения компания выполняет комплекс мероприятий, обеспечивающий повышение энергоэффективности и как результат — экономию энергоресурсов. К ним относятся мероприятия, нацеленные на уменьшение использования электрической и тепловой энергии, и снижение водопотребления [1].

Для оценки проекта использовались такие показатели оценки эффективности, как чистый дисконтированный доход, дисконтированный индекс доходности, дисконтированный срок окупаемости и показатель внутренней нормы доходности:

1. ЧДД нарастающим итогом при норме дисконта 15% составляет 283,57 тыс. руб., что больше нуля, следовательно, проект эффективен.
2. ИДД > 1 и составляет 5,02, следовательно, проект эффективен.
3. Дисконтированный период окупаемости составил 1 год 4 месяца, что меньше срока реализации программы, который составляет 3 года.
4. ВНД составляет 164,44%. По результатам видно, что данный показатель в разы больше нормы дисконта, что свидетельствует об устойчивости данного проекта.

Подводя итоги работы необходимо сказать, что действующая Программа энергосбережения и повышения энергетической эффективности характеризуется положительными показателями и рекомендуется к продлению сроков реализации.

Литература

1. **Фрей Д. А., Костюченко П. А., Зубкова А. Г., Евсеенко И. В., Бархатов В. Д., Царьков И. Н.** — Оценка экономической эффективности энергосбережения: теория и практика: Справочно-методическое изд-е / Под общ. Ред. А.Г. Зубковой, Д. А. Фрей. — М.: «Интехэнерго-Издат», «Теплоэнергетик», 2015. — 400 с.

Д. В. Зажигина, студ.;
рук. Е. М. Табачный, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И МЕРЫ ПОВЫШЕНИЯ ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Рациональное использование энергоресурсов, снижение их потребления является одной из первоочередных задач при модернизации и повышении энергетической эффективности экономики, как на уровне государства, так и отдельного предприятия. В работе представлены результаты анализа политики в сфере энергосбережения, определены некоторые проблемы и даны предложения по повышению эффективности энергосбережения.

Проведенный анализ показал, что за последние 5 лет стоимость электроэнергии возросла на 42,6%, тепловой энергии на 49,1%, а горячей воды — 53,7%. (табл. 1).

Таблица 1 — Динамика индекса потребительских цен на энергоресурсы в 2012–2016 гг., %

Вид ресурса	2012	2013	2014	2015	2016
Электроэнергия	105,9	112,9	104,0	108,4	105,8
Тепловая энергия	110,2	110,9	105,9	109,5	105,2
Вода горячая	112,0	110,6	106,9	109,6	105,9

Это подтверждает актуальность Федерального закона № 261 «Об энергосбережении» [1], в том числе использования механизма энергосервисных контрактов. Анализ рынка энергосервисных услуг показывает устойчивый рост количества контрактов на 50% в год и обеспечение экономии свыше 9,6 млрд руб.

В то же время выявлена тенденция к снижению эффективности энергосервисных проектов. Одной из причин данной тенденции является высокая стоимость денег.

В работе предложен вариант ликвидации неблагоприятной тенденции путем реализации Государственной программы льготного кредитования энергосервисной деятельности.

Литература

1. **Федеральный закон РФ** от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. **Государственная федеральная программа РФ** «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 г.».
3. **Федеральная государственная служба статистики.** [Электронный ресурс] режим доступа: <http://www.gks.ru>.

Д. В. Гаплевская, студ.;
рук. Д. Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ТАРИФООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ГОСУДАРСТВЕННОМ РЕГУЛИРОВАНИИ МОНОПОЛЬНОГО СЕКТОРА

Определение оптимального метода тарифного регулирования в условиях реформирования электроэнергетического сектора является актуальным вопросом. В поисках баланса экономических интересов потребителей электроэнергии и компаний, оказывающих услуги по передаче электроэнергии, большое внимание уделяется совершенствованию тарифной методологии и отраслевой специфике.

Государственной стратегией развития электросетевого комплекса определено, что тарифы на услуги по передаче должны обеспечивать приемлемый уровень затрат на электроэнергию для российской экономики и инвестиционную привлекательность отрасли через адекватный возврат на капитал [1]. Развитие сетевой инфраструктуры и необходимость доведения технического уровня энергетических систем до мировых стандартов неразрывно связаны с преодолением старения основных фондов, что на фоне недоинвестирования отрасли в предыдущие годы определяет потребность в значительных вложениях.

В данной работе произведена оценка применения существующих методов формирования тарифов, а также разработана факторная модель себестоимости услуг по передаче электроэнергии. При использовании различных методов разница в сетевых тарифах может составлять порядка 2%, что существенно при текущем ограничении роста тарифов в 3%.

Сетевым компаниям предлагается при выборе методов тарифного регулирования учитывать следующие факторы: потребность региона в развитии электросетевой инфраструктуры, уровень полезного отпуска, достаточность выручки на содержание сетей и уровень прироста тарифа (и его соответствие прогнозу социально-экономического развития РФ).

Потенциал снижения издержек ограничен только управляемыми расходами, которые составляют 35% от выручки, при этом 65% расходов неподконтрольны менеджменту (услуги прочих сетевых, покупка потерь, налоги и др.). Дополнительное сокращение расходов на ремонт и эксплуатацию приведет к рискам нарушения надежной и безопасной работы, что обуславливает необходимость расчета тарифов на основании нормативов. Потенциал перераспределения расходов в этом случае составит до 12% от совокупной выручки, кроме того будет исключен субъективизм регуляторов в принятии решений.

Литература

1. **Распоряжение Правительства РФ** от 03.04.2013 № 511-р // Правовая система «Консультант +», 2017.

А. Г. Осипов, студ.; рук. Д. А. Фрей, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО АДАПТАЦИИ К КЛИМАТИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЯМ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Можно считать установленным фактом, что климат планеты в последние десятилетия претерпевает значительные изменения и оказывает все большее влияние на многие сферы жизнедеятельности человека. В частности системы теплоснабжения подвержены влиянию опасного погоного явления «переход температуры наружного воздуха через ноль».

Несмотря на возрастающий интерес к проблемам изменения климата, методические вопросы оценки экономической составляющей ущербов от природных явлений и экономической эффективности адаптационных мер недостаточно разработаны. Область применения существующих методик весьма ограничена, что делает затруднительной корректную экономическую оценку не только для социальных сфер, но и для технологических. Так, для систем теплоснабжения отсутствует специализированная методика оценки ущербов от погодных явлений, а наиболее близкие по смыслу и содержанию работы [1] не позволяют провести полноценную оценку.

Предлагаемый автором методический подход основан на учете затрат на выполнение аварийно-восстановительных работ на тепловых сетях и оценке ущерба как будущего притока денежных средств. Рассчитаны три варианта адаптации к опасному погодному явлению «переход температуры наружного воздуха через ноль». Во всех вариантах рассматривается замена разводящих сетей (ГВС, ЦО, вентиляция) и тепловых вводов, диаметры трубопроводов составляют от 40 мм. до 300 мм. В данном диапазоне при одинаковых температурах физические процессы внутри труб протекают одинаково, а затраты и ущербы на перекладку и благоустройство соизмеримы.

Результатом всех адаптационных мероприятий является снижение ущербов, при этом проект по замене труб на трубы с большей износостойкостью окупается на горизонте планирования (имеет соотношение предотвращенного ущерба к капиталовложениям 1.35, ЧДД — 208 млн руб., снижает аварийность на 26%). Результаты работы показывают возможность нахождения эффективных мероприятий по адаптации к климатическим изменениям систем теплоснабжения.

Литература

1. **Климов О. В.** Сценарии адаптации к ураганам. Экономическое обоснование адаптационных мер, принимаемых в условиях рассчитанных рисков, по предотвращению последствий ураганов для объектов электросетевого хозяйства (2013) // канд. геогр. наук — Научно-исследовательская работа — Сиб., 53 стр. 2.

Направление
ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА
И ТЕПЛОФИЗИКА

Научный руководитель направления —
директор ИТАЭ, д.т.н., профессор,
член-корр. РАН А.В. Дедов

Секция 39

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И УСТАНОВКИ

Председатель секции — к.т.н., доцент С.М. Никонов
Секретарь секции — вед. инженер Р.Х. Хасанов

*Р. Т. Аль Малкави, аспирант; Ф. В. Груздов, инженер;
рук. С. Б. Выговский, к.т.н., доц. (НИЯУ МИФИ, Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ПРОВОДИМОСТИ ГАЗОВОГО ЗАЗОРА В ТОПЛИВЕ РЕАКТОРОВ ВВЭР ОТ ГЛУБИНЫ ВЫГОРАНИЯ НА НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ

В данной статье представлены результаты исследований зависимости нейтронно-физических характеристик активной зоны реакторов ВВЭР-1000 (1200) от поведения проводимости газового зазора в топливном элементе при выгорании топлива. Целью данных исследований было уточнение зависимости проводимости зазора от выгорания топлива по данным итогового отчета по безопасности для Бушерской АЭС и определение масштаба влияния этой зависимости на пространственное распределение нейтронного поля и динамические характеристики ксеноновых процессов в активной зоне. Приведены результаты расчета параметров, контролирующих теплотехническую безопасность активной зоны, при выгорании топлива для обобщенной топливной загрузки реактора ВВЭР-1000 при переходе на полугодовой топливный цикл. В этой же работе помещены результаты численных исследований влияния проводимости газового зазора на динамические характеристики ксеноновых процессов в активной зоне. Данные результаты показали, что влияние зависимости проводимости газового зазора от выгорания на стационарные характеристики, в реальности, не велико. Однако, это влияние на параметры ксеноновых процессов довольно существенно, особенно для продолженных топливных кампаний. В условиях реализации маневренных режимов, сопровождающихся ксеноновыми процессами в активной зоне, учет этой зависимости в инженерных кодах расчетной поддержки эксплуатации оборудования и ПМТ АЭС с ВВЭР-1000 (1200), становится важным и актуальным.

Литература

1. **Ainscough J. B.** Gap conduction in Zircaloy-Clad LWR fuel rods. Paris, France: Committee of the Safety of Nuclear Installations OECD Nuclear Energy Agency, 1982.

2. **Rahgoshay M., Rahmani Y.** A study of the effects of changing burn-up and gap gaseous compound on the gap convection coefficient (in a hot fuel pin) in VVER-1000 reactor // International Journal of Nuclear Research. 2007. Т. 52, № 3. С. 93–95.
3. **Попов С. Г., Проселков В. Н.** Термические свойства топлива из диоксида урана. Препринт ИАЭ-6139/11, М., 1999.
4. **Выговский С. Б., Зимин В. Г., Чернов Е. В.** Приложение к аттестационному паспорту № 182 от 28.10.2004 г. Программный комплекс ПРОСТОР (версия 1). — М.: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2004.

*Y. N. Husein, PhD., student; Supervisor A. K. Budyka, prof., Ing., CSc.;
Consultant D. A. Pripachkin, Ph. D. (MEPhi– Moscow)*

ESTIMATION METHOD OF PARTICLE SIZE DISTRIBUTION (PSD) OF RADIOACTIVE AEROSOLS BY USING INERTIAL SEPARATORS

This paper introduces a method for estimating the particle size distribution (PSD) of radioactive aerosols by minimizing the error function $Q(\mu, \sigma)$ [1]. using single-cascade inertial separator by separating the spectrum of aerosol particles into fractions, and the experiment established efficiency dependency of particle deposition with the aerodynamic diameter.

Estimation method of AMAD and geometric standard deviation (GSD) for dispersed composition of radioactive aerosols — using single-cascade has the following steps: first step is sampling aerosols on filter and measuring the activity of the particles deposited on the filter; the second one is pumping aerosol at a fixed linear velocity through a single-cascade filter for the same period of time, and also measured the activity of the particles deposited on the filter. The last step is repeating the second again, but with a different linear velocity.

$$Q(\mu, \sigma) = \sqrt{(\eta_1 - \eta_1^T)^2 + (\eta_2 - \eta_2^T)^2} \quad (1)$$

The values of μ - (AMAD) and σ - (GSD), for which the function (1) has a minimum value are AMAD and GSD of original spectrum. This approach has been implemented in the method of multilayer filters, which is widely used in Russia [2]. In our case, the considered approach may be applied for assessing the AMAD and GSD.

In order to determine $E_i(x)$ — deposition efficiency of particles studied have been carried out to spectrum of known aerosol particles which obtained by simulator source of aerosols in working area, typical of the nuclear industry. The study was performed on non-radioactive aerosols NaCl.

By knowing the dependence of $E_i(x)$ — deposition efficiency with aerodynamic particle diameter, we can find $\eta_i^T(\mu, \sigma)$. Then, the obtained expression $\eta_i^T(\mu, \sigma)$ puts in (1) and defines both of μ and σ corresponding to the minimum of the function $Q(\mu, \sigma)$. Determining the minimum of the function $Q(\mu, \sigma)$ analytically is impossible; therefore, to find it, we have to use numerical methods.

Literatures

1. **Cheng, Y. S. and Yeh, H. C.** Theory of a screen-type diffusion battery, *J. Aerosol Sci.* (1980)
2. **Budyka A. K., Ogorodnikov B. I. and Skitovich V. I.** Filter pack technique for determination of aerosol particle sizes, *J. Aerosol Sci.* (1993)

А. Ш. Исхаков, асп.; рук. В. И. Мелихов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ СЖИМАЕМЫХ ПОТОКОВ

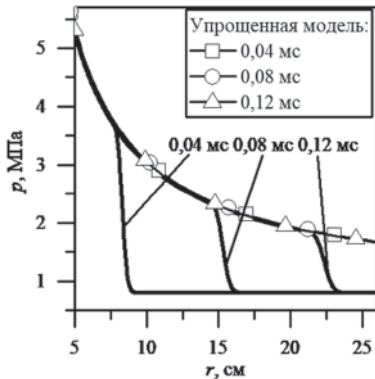


Рис. 1. Профили давления в свинце в различные моменты времени

который рассматривается в приближении идеальной сжимаемой жидкости.

Ввиду большой скорости звука в свинце ($\sim 2 \cdot 10^3$ м/с), дискретизация системы дифференциальных уравнений неразрывности и движения произведена на основе AUSM конечно-разностных схем [3, 4], обладающих низкой схемной вязкостью.

На рис. 1 представлены профили давлений в свинце, полученные в расчетах, которые сравниваются с профилями, полученными в [5] для модели идеальной несжимаемой жидкости. На графиках видна конечная скорость распространения волны давления в свинце (в отличие от модели несжимаемой жидкости, для которой возмущения передаются мгновенно).

Литература

1. **Hu X. Y., Khoo B. C.** An interface interaction method for compressible multifluids, *J. Comput. Phys.* 198 (2004) 35–64. DOI: 10.1016/j.jcp.2003.12.018.
2. **Hu X. Y. et al.** A conservative interface method for compressible flows, *J. Comput. Phys.* 219 (2006), 553–578. DOI: 10.1016/j.jcp.2006.04.001.
3. **Shima E, Kitamura K.** Parameter-free simple low-dissipation AUSM-family scheme for all speeds, *AIAA Journal*, vol. 49, No. 8, August 2011. DOI: 10.2514/1.J050905.
4. **Kitamura K., Hashimoto A.** Reduced dissipation AUSM-family fluxes: HR-SLAU2 and HR-AUSM+-up for high resolution unsteady flow simulations, *J. Computers and Fluids* 126 (2016) 41–57. DOI: 10.1016/j.compfluid.2015.11.014.
5. **Исхаков А. Ш., Мелихов В. И., Мелихов О. И.** Численное моделирование гидродинамического воздействия на трубки парогенератора реактора «БРЕСТ-300» при аварии «Межконтурная неплотность» // Вестник МЭИ. 2017. № 3. С. 33–40. DOI: 10.24160/1993-6982-2017-3-33-40.

О. И. Коновалов, студ.; рук. В. В. Меркулов, к. т. н. (НИУ МЭИ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРОВОГО ВЗРЫВА ПРИ АВАРИИ В БАСЕЙНЕ ВЫДЕРЖКИ НА АЭС

В данной статье представлены результаты расчета возможного сценария развития парового взрыва в бассейне выдержки (БВ) в случае тяжелой запроектной аварии на АЭС, протекающей по сценарию «Полное обесточивание энергоблока в течение 72 ч». Дополнительно постулируется отказ на запуск резервных дизель-генераторов. При таком сценарии аварии невозможно осуществить подпитку БВ штатными системами безопасности. Из-за остаточного тепловыделения отработавших тепловыделяющих сборок (ТВС), хранящихся в бассейне выдержки, теплоноситель начнет нагреваться и выкипать, уровень воды в БВ будет медленно снижаться. После оголения ТВС начнется их разогрев, окисление оболочек твэлов, плавление. В конечном итоге возникнет следующая ситуация: после полного оголения ТВС испарение воды в БВ существенно замедлится, при этом уровень воды под ТВС с учетом особенностей конструкции стеллажей уплотненного хранения топлива будет составлять примерно 0,5–0,7 м. Расплавленные компоненты тепловыделяющих сборок и стальных труб стеллажей бассейна выдержки будут стекать вниз и падать в воду. При этом возможно возникновение парового взрыва.

Расчеты проведены по российскому интегральному тяжелоаварийному коду СОКРАТ/В1 [1].

Литература

1. Программа СОКРАТ/В1. Аттестационный паспорт программного средства № 275 от 13.05.2010 г. НТЦ ЯРБ при Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2010 г.

И. И. Крылов студ.; рук. Ю. Б. Воробьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ НАИБОЛЕЕ ОПАСНЫХ СЦЕНАРИЕВ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ НА АЭС

Вероятностный анализ безопасности (ВАБ) является важным инструментом для рассмотрения потенциально опасных инженерных систем в ядерной энергетике и т.п. ВАБ базируется на множестве предположений по поводу возможных аварийных сценариев, «декомпозиции» сложных проблем на множество предопределенных последовательностей и т.д. Также существуют проблемы самого ВАБ:

Стоит отметить, что детерминистические динамические модели, называемые кодами наилучшей оценки и получившие признание как инструменты анализа безопасности, используются до сих пор достаточно оторвано от ВАБ, что затрудняет их применение в анализе риска и нахождении наиболее опасных состояний АЭС. Последнее может приводить к их недооценке или пропуску.

Динамический ВАБ (ДВАБ) является подходом, нацеленным на улучшение качества анализа через связь детерминистической и вероятностной ветвей анализа безопасности и является дополнением к стандартному ВАБ.

В ДВАБ анализе существуют две типичные задачи поиска:

- 1) наихудшего сценария с наиболее опасными последствиями;
- 2) области отказа или подобластей в пространстве возможных сценариев АЭС, где превышает барьер, связанный с некоторыми пределами безопасности.

В данной работе рассматривается первый вариант и усилия концентрируются на определении потенциальных уязвимостей АЭС для случаев тяжелых аварий. Таким образом пространство поиска формируется на основе параметров, характеризующих аварии запроектного, тяжелого класса. В качестве критериев, определяющих степень опасности, рассматриваются величины типа количества образовавшегося водорода, масса кориума, вышедшая из корпуса реактора, и т.д. Рассматриваются результаты расчета применительно к РУ ВВЭР — 1000. Реализация основывается на применении адаптивной стратегии на основе алгоритмов семейства поиска глобального оптимума. В частности, в рассматриваемом методе используется генетический алгоритм (ГА).

*А. Л. Малышева студ.;
рук. Ю. Б. Воробьев. к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В ПАРОГЕНЕРАТОРАХ АТОМНЫХ ЛЕДОКОЛОВ

В докладе рассматривается проблема растрескивания трубчатки парогенераторов (ПГ) атомных ледоколов и формулируются направления работ по разработке и расчетно-теоретическому обоснованию механизма возникновения аномального наводораживания титанового сплава в месте растрескивания.

Во всех зафиксированных случаях отказов ПГ атомных ледоколов причиной является аномально наводораживание титанового сплава. Исследование причин наводораживания материалов конструкции позволит обосновать рекомендации по их устранению и тем самым обеспечит их герметичность трубчатки ПГ.

Выполнен обзор источников по проблеме наводораживания материалов трубной системы парогенераторов. На основе экспериментальных данных показаны закономерности поступления в первый контур коррозионного водорода, приводящие к нарушению саморегулируемости ВХР первого контура.

В настоящее время расчетное исследование процессов радиационно-химических превращений, межфазного массопереноса и транспорта компонентов водного теплоносителя основывается на выделении наиболее интересных мест, с точки зрения рассматриваемых феноменов. Для этого и подготовки граничных условий разработана подробная модель ПГ на основе кода Relap5. При исследовании движения и растворения парогазовых пузырьков в межтрубном пространстве и застойном участке ПГ используются трехмерные расчетные модели на основе CFD кода (код расчетной гидродинамики).

С. В. Олейник, асп.; рук. С. В. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ОЧИСТКИ ЖРО С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ОСВОБОЖДЕННЫХ ОТ КОНТРОЛЯ ОТХОДОВ

Передовой технологией переработки и кондиционирования жидких радиоактивных отходов (ЖРО) атомных электростанций в наши дни, является Установка ионоселективной очистки (УИСО). Данная технология доказала свою работоспособность и эффективность, за более чем 10 лет промышленной эксплуатации на Кольской АЭС. Подобные установки сегодня проектируются, монтируются и вводятся в эксплуатацию на других станциях, в перспективе ими будут оснащены все АЭС России и зарубежных стран.

Деактивированные ЖРО относятся сегодня к категории очень низко активных отходов и не имеют перспектив вывода за территорию АЭС, в связи с ужесточением требований норм радиационной безопасности. Принято решение доупаривать эти растворы и разливать их в бочки — контейнеры, которые после охлаждения и кристаллизации в них пластов складываются на площадке АЭС. Понятно, что это — только временное решение.

Целью данной работы являлось создание способа очистки ЖРО пригодного для снижения предельно значимой удельной активности радионуклидов кобальта (Co^{60}) из очищенного после УИСО раствора до менее 16 Бк/кг (в жидком состоянии, при содержании солей 100 г/л), в соответствии с установленными Нормами радиационной безопасности (НРБ-99/2009).

В ходе выполнения работы были исследованы и проанализированы существующие способы переработки, выбран наиболее эффективный метод как основание для разработки [1], исследованы основные физико-химические и кинетические особенности протекания процессов в технологической схеме способа, предложены варианты модернизации технологии для обеспечения целевых показателей работы установки, создан технический проект макетной установки.

Литература

1. **Булатов М. А.** Комплексная переработка многокомпонентных жидких систем. М.: Мир, 2017.
2. **Петров, Г. А.** Инновационные энергосберегающие технологии переработки радиоактивных отходов М.: Книжный мир, 2012.
3. **Никифоров А. С., Куличенко В. В., Жихарев М. И.** Обезвреживание жидких радиоактивных отходов М: Энергоатомиздат, 1985.

С. В. Олейник, асп.; рук. С. В. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА КОНТАКТНОГО АППАРАТА ОЗОНИРОВАНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Применяемые сегодня контактные аппараты для проведения процесса озонирования жидких радиоактивных отходов (ЖРО) атомных электростанций, позволяют использовать лишь 60% озона, который в них поступает. Наличие застойных зон и низкая интенсивность перемешивания, приводят к проскоку загрязнителя. Следствием данных недостатков является избыточная производительность генераторов озона и систем дожигания, а также высокая остаточная активность конечного продукта переработки — солевого плава, обусловленная микроколичествами комплексов радиоактивного кобальта (^{60}Co).

Целью данной работы являлась разработка контактного аппарата для проведения реакций окисления озоном комплексных соединений металлов коррозионной группы, а также балластных компонентов минеральной и органической природы, содержащихся в кубовых остатках АЭС с высоким содержанием солей, с целью их дальнейшего удаления из растворов. Конструкция контактного аппарата исключает проскок микроколичеств комплексов кобальта радиоактивного с этилендиаминтетрауксусной кислотой.

В ходе выполнения работы были изучены теоретических аспекты озонирования жидкостей (процессов растворения, диффузии и химической реакции взаимодействия озона с загрязнителем), исследованы и выбраны способы ввода газообразного озона в раствор, разработан эскизный проект контактного аппарата.

В ходе изучения теоретических аспектов озонирования жидкостей выбраны оптимальные параметры данного процесса (температура, водородный показатель, содержание солей). Исследованы способы введения озона в раствор и выбран наиболее эффективный метод — эжектирование. Разработан эскизный проект контактного аппарата производительностью 1 л/ч.

Литература

1. **Видорович В. Н., Исправников Ю. А., Нижде-Гавчани Э. А.** Проблемы озонирования и озонобработки и создание озонаторов второго поколения М.-С.-Пб., Экоинформсистема, 1994.
2. **Семеновский Ю. В., Акульшин В. А.** Эжекционная система аэрации в установках сточных вод. Водоснабжение и сан. техника. 1980.
3. **Лунин В. В., Самойлович В. Г. и др.** Теория и практика получения и применения ОЗОНА — Издательство Московского университета, 2016.
4. **Орлов В. А.** Озонирование воды, М. Стройиздат, 1984.

В. Н. Подгорный, асп.;
рук. Ю. Б. Воробьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА ГЛОБАЛЬНОГО ОПТИМУМА В ДИНАМИЧЕСКОМ ВЕРОЯТНОСТНОМ АНАЛИЗЕ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС

В настоящее время в мировой практике результаты вероятностного анализа безопасности (ВАБ) АЭС являются одним из критериев для принятия решения о лицензировании новых проектов, модернизации существующих реакторных установок, разработки новых систем безопасности. Однако используемые процедуры ВАБ были разработаны в 1970-е гг. и в настоящий момент имеют недостатки. Проблемы, с которыми сталкивается ВАБ это: невозможность полностью учесть все взаимодействия между детерминистическими, динамическими процессами и вероятностью возникновения каждого явления; неспособность учесть параметры, зависящие от времени, при сложном взаимодействии между динамическими процессами; существенное влияние субъективного фактора при попытках учесть характеристики детерминистических процессов при создании модели ВАБ; использование предположения о Марковском характере процессов, что часто является неверным.

Отмеченные недостатки серьезно ухудшают оценки ВАБ, приводя как к повышенной консервативности и экономической неэффективности, так и к возможности недоучета потенциально опасных аварийных ситуаций. В настоящее время при высоких темпах роста конкуренции на мировом рынке производства АЭС разработка более точных методов является актуальной задачей для улучшения показателей безопасности энергоблоков нового поколения.

С данной целью в мире ведутся работы по разработке методов динамического ВАБ (ДВАБ). В них открытым вопросом остается применение методов поиска глобального поиска, которые позволят более эффективно исследовать пространство возможных событий, снижая количество необходимых расчетов по моделированию детерминистических процессов на основе интегральных кодов улучшенной оценки типа RELAP5, KOPCAP и т. п.

В докладе рассматриваются существующие алгоритмы поиска глобального оптимума: генетические алгоритмы (ГА), метод Монте-Карло, а также его модификация метод Латинских гиперкубов; произведена их оценка и рассмотрена возможность их применения в ВАБ. Приводятся результаты тестовых расчетов, а также применительно к реакторной установке ВВЭР-1000.

*С. К. Подгорный, магистрант; рук. В. С. Кузеванов, д.т.н., проф.
(филиал МЭИ в г. Волжском)*

ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ГАЗООХЛАЖДАЕМОМ РЕАКТОРЕ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ В ПЕРЕХОДНОМ ПРОЦЕССЕ

Особого внимания заслуживают переходные процессы в активных зонах газоохлаждаемых ядерных реакторов, так как в данном типе реакторов активная зона предельно нагружена термически из-за необходимости получения высоких температур теплоносителя. Для снижения термических напряжений в элементах активной зоны может быть организовано профилирование массового расхода теплоносителя в охлаждающих каналах активной зоны по условиям одинаковых массовых расходов, одинаковых подогревов теплоносителя в каналах или профилирование по условию одинаковых максимальных температур стенок охлаждающих каналов в стационарном режиме работы. Поскольку профилирование ориентировано на оптимизацию температурного поля в стационарном (обычно, в номинальном) режиме, то вопрос о температурном поле в переходном процессе, то есть о влиянии возмущений по тепловой мощности активной зоны или расходу теплоносителя на изменение температуры в термически напряженных зонах требует дополнительного анализа.

В настоящей работе предложена модель расчета средней по контрольным ячейкам активной зоны температуры в нестационарных процессах. Модель основана на представлении активной зоны реактора как сплошной среды с изменяющимися по времени и в пространстве теплофизическими параметрами. Отвод тепла теплоносителем представлен как действие внутренних стоков тепла. Дан алгоритм конкретизации температурного поля по данным о средней температуре среды в контрольной ячейке. Проведено исследование температурного поля в активной зоне газоохлаждаемого реактора проекта «ГТ-МГР» в переходных процессах.

Результаты, полученные с использованием предложенной модели, демонстрируют отличие в динамике перестроения температурных полей в профилированной активной зоне рассмотренного реактора, обусловленные различием аэродинамических характеристик охлаждающих каналов при реализации различных принципов профилирования.

Численное моделирование переходных процессов на основе современных программных комплексов вычислительной гидродинамики показывает хорошее согласование температурных полей в контрольной ячейке, рассчитанных как при использовании предложенной модели с алгоритмом конкретизации температурного поля, так и с применением развернутого численного анализа.

А. А. Саенко, студ.; рук-ли А. Ш. Исхаков, асс.;
А. А. Неровнов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБЗОР МОДЕЛЕЙ КРИТИЧЕСКОГО ИСТЕЧЕНИЯ

Ключевым процессом для анализа аварийных режимов на АЭС с потерей теплоносителя (аварии класса LOCA — Loss-of-Coolant Accident) является критическое истечение воды из трубопроводов/сосудов высокого давления, поскольку критический расход определяет скорость опорожнения сосудов и динамику переходных процессов, что в конечном итоге определяет требования к системам безопасности [1].

В настоящее время разработаны десятки различных моделей критического истечения [2, 3], которые в общем случае можно классифицировать по следующим признакам: 1) термодинамически равновесные и 2) термодинамически неравновесные модели. В свою очередь, равновесные могут быть подразделены на: 1а) гомогенные и 1б) негомогенные модели; неравновесные — на 2а) модели замороженного потока и 2б) негомогенные модели. Столь обширный выбор ставит перед исследователями вопрос о применимости той или иной модели при анализе различных аварийных режимов класса LOCA, которые могут отличаться как геометрией трубопровода (отношение длины участка истечения к его диаметру, острые и плавные кромки и т. п.)/сосуда, так и начальными термодинамическими параметрами теплоносителя (давление, температура или паросодержание), в зависимости от которых происходит истечение недогретой, двухфазной воды или перегретого пара.

В настоящей работе проведен анализ наиболее известных моделей критического истечения. Программная реализация моделей позволила провести расчеты и сравнить результаты с имеющими экспериментальными данными [4, 5]. В результате проведенного исследования выявлены пределы применимости рассмотренных моделей, а также их преимущества и недостатки, в зависимости от геометрии участка истечения и начальных термодинамических параметров теплоносителя.

Литература

1. **Levy S.** Prediction of two-phase critical flow rate // J. Heat Transfer. 1965. Vol. 87 (1), pp. 53–57. DOI:10.1115/1.3689050.
2. **Elias E, Lellouche G. S.** Two-phase critical flow // Int. J. Multiphase Flow. 1994. Vol. 20, pp. 91–168. DOI: 10.1016/0301-9322 (94)90071-X.
3. **D'Aura F, Vigni P.** Two-phase critical flow models // CSNI Report No. 49, 1980.
4. **Тихоненко Л. К.** Компьютерный банк опытных данных по комплексу экспериментальных исследований стационарного истечения водяного теплоносителя через элементы циркуляционных контуров парогенерирующих установок // Отчет ЭНИЦ I.375, 1990.
5. **В. С. Алешин, Ю. А. Калайда, В. В. Фисенко** Исследование адиабатного истечения воды через цилиндрические каналы // Атомная энергия. 1975. Т. 38, № 6.

*В. А. Скляренко, А. Г. Зубков, студенты;
рук. В. М. Зорин, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)*

ОБ ОСОБЕННОСТИ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ВВЭР — СКДИ

В соответствии с международной программой Generation IV в ряде стран (Канада, Япония, ЕЭС, Россия) разрабатываются новые ядерно-энергетические технологии, в том числе с реактором охлаждаемым водой сверхкритического давления (СКД).

Реакторная установка ВВЭР-СКДИ [1] разрабатываемая в НИЦ «Курчатовский институт» имеет ряд особенностей, которые, по сравнению с другими РУ, делают ее, на наш взгляд, предпочтительной для реализации в качестве опытно-промышленной установки.

Во всех зарубежных проектах и российском ВВЭР-СКД температура теплоносителя на выходе из активной зоны — более 500°C, а максимальная температура оболочек твэлов — 620–850°C. В [2] приведены и другие характеристики разрабатываемых реакторов с теплоносителем — водой при сверхкритическом давлении.

Назовем особенности, отличающие ВВЭР-СКДИ от других разработок с водой СКД:

1. Двухконтурная тепловая схема, позволяющая не рассматривать не до конца ясный в настоящее время вопрос о выносе активности в машзал;
2. Спектральное регулирование мощности в ходе кампании реактора, позволяющее практически полностью исключить аварии с выбросом стержней управления из активной зоны;
3. Интегральная компоновка, позволяющая разместить корпус реактора с активной зоной, парогенератором и контуром естественной циркуляции в страховочном корпусе, что резко повышает безопасность реакторной установки;
4. Уровень температур теплоносителя (395–375°C в начале кампании с максимальной температурой оболочек твэлов 480°C в нормальных условиях эксплуатации) позволяет с большой вероятностью рассчитывать на использование циркониевого сплава, а в случае использования стальных сплавов в опытно-промышленном реакторе ограничить кампанию.

Литература

1. **Силин В. А., Семченков Ю. М., Алексеев П. Н. и др.** Проблемы перехода на сверхкритические параметры теплоносителя в ядерной энергетике // Атомная энергия. 2014. Т. 117. № 5.
2. Heat Transfer Behaviour and Thermohydraulics Code Testing for Supercritical Water Cooled Reactors (SCWRs), IAEA-TECDOC SERIES, 2014.

С. Е. Скрипов, студ.; рук. Г. В. Палагин, асп. (НИУ «МЭИ»)

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ПАРОГЕНЕРАТОР ПАРОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 1000 Т/Ч ДЛЯ АЭС С ВВЭР

Актуальность ядерной энергетики в современном мире растет. В России доля вырабатываемой электроэнергии на АЭС составляет около 18,6% от всего производимого на электростанциях электричества.

Основная выработка электроэнергии АЭС приходится на энергоблоки с водяными энергетическими реакторами (ВВЭР). Они используются на двухконтурных отечественных атомных электростанциях, где важным элементом блока являются горизонтальные парогенераторы (ПГ), конструкция которых отработана огромным эксплуатационным и технологическим опытом промышленности.

В данной работе разработана конструкция парогенератора АЭС горизонтального типа. Преимущества таких парогенераторов — хорошая отработанная конструкция по сравнению с вертикальными ПГ, но менее удобная компоновка с реактором. Также в горизонтальных парогенераторах: не используется трубная доска, где скапливается шлам; невозможна вибраций из-за низкой скорости среды во втором контуре.

Во время разработки конструкции автором была выполнена оптимизация конструкции парогенератора из условия достижения минимальных приведенных затрат на производство и эксплуатацию при соблюдении граничных условия:

- диаметр корпуса не более 4,5 м; возможна перевозка парогенератора по линиям железнодорожного транспорта;
 - масса парогенератора не должна превышать 500 т;
 - внутренний диаметр коллектора теплоносителя не менее 0,5 м;
- Основные характеристики разработанного парогенератора АЭС:
- паропроизводительность — 1000 т/ч;
 - тепловая мощность — 517 МВт;
 - скорость теплоносителя — 3,7 м/с;
 - площадь поверхности теплообмена — 4496 м²;
 - максимальный внешний диаметр — 4014 мм;
 - длина ПГ — 11 366 мм;
 - масса ПГ — 165 т.

С. С. Татаринова, студент;
рук. Е. Д. Маршалов к. т. н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АСУТП ТУРБИНЫ ЭНЕРГОБЛОКА АЭС

Развитие атомной энергетики предусматривает повышение удельного веса АЭС в общей структуре генерирующих мощностей. Для повышения маневренности энергоблоков АЭС можно использовать тепло, аккумулированное в подогревателях высокого давления. Для увеличения выработки мощности при изменении режима работы необходимо прикрывать отбор паровой турбины [1].

В ходе работы создана имитационная модель энергоблока АЭС в части оборудования, участвующего в регулировании мощности, на которой проведено исследование максимально возможной величины прикрытия регулирующих органов на отборах высокого давления пара турбины, чтобы температура питательной воды не выходила за границы допустимых значений.

Дополнительно к базовой схеме регулирования мощности за счет увеличения расхода пара после парогенератора, рассматривается дополнение турбины системой регулирования и прикрытие клапанов отбора высокого давления [2].

Результаты влияния регулирующего клапана на отборах представлены на примере прикрытия регулирующего клапана отбора на ПВД — 8 на 30% (рис. 1).

Как видно из рисунка заданное значение нагрузки увеличилось на 10 МВт относительно текущего, регулятор произвел воздействие на расход отборного пара, температура питательной воды в начале уменьшилась, в то время как фактическая мощность увеличилась в соответствии с заданием.

В дальнейшем данное решение позволит атомным энергоблокам участвовать в нормированном первичном регулировании частоты. Требования по скорости набора и сброса нагрузки соблюдены и соответствуют стандарту СТО 59012820.27.100.003-2012.

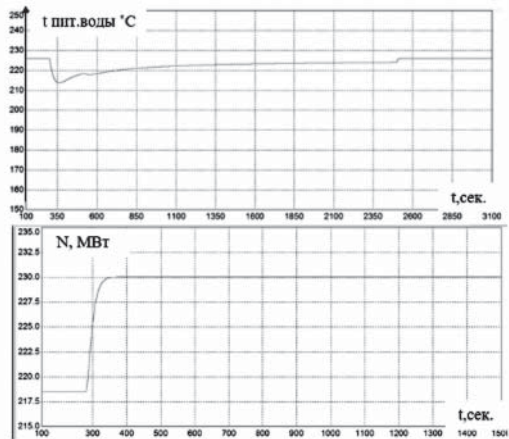


Рис. 1. Переходные процессы изменения температуры питательной воды и мощности при минимальной нагрузке

Литература

1. Баклушин Р. П. Эксплуатационные режимы АЭС. — 2-е издание, перераб. и доп. — М.: Изд. дом МЭИ, 2012. — 532 с.
2. Инструкция по эксплуатации энергоблока № 2. Кольская АЭС, 2015. — 191 с.

*А. С. Жунусова, студ.; рук. Р. А. Иркимбеков, к. ф-м. наук,
начальник лаборатории (НЯЦ РК, г. Курчатов)*

РАСЧЕТ ОТРАВЛЕНИЯ БЕРИЛЛИЕВЫХ БЛОКОВ РЕАКТОРА ИВГ.1М

Загрязнение окружающей среды бериллием связано с развитием промышленности. Бериллий служит источником нейтронов в атомных реакторах. Там, где концентрация этого элемента достигает 0,01 мг на 1 м³ воздуха, могут появиться признаки отравления. Бериллий принадлежит к нерадиоактивным элементам. Но его использование за последнее время увеличилось примерно на 500%. Так, Энрико Ферми использовал препараты радия и бериллия в экспериментах, давших миру первый реактор. Бериллий не ржавеет! Все его преимущества перевешивает один недостаток: бериллий ядовит даже в самых минимальных количествах [1].

Актуальность работы обусловлена необходимостью рассчитать отравления бериллиевых блоков на реактивность реактора, плотность потока тепловых нейтронов и распределение мощности реактора ИВГ.1М. Объектом исследования являлись бериллиевые блоки вытеснителей и отражателей АЗ реактора ИВГ.1М. Известны цепочки преобразования ядер и характерные времена протекания реакций. Известно, что при взаимодействии бериллия с нейтронами образуются нуклиды Li⁶ и He³, обладающие большими сечениями захвата тепловых нейтронов. Исследовательский реактор эксплуатируется с перерывами. Результаты показывают, что периоды останова реактора сильно влияют на накопление ³He в бериллиевых блоках, при этом время останова не влияет на концентрацию ⁶Li. Однако накопление ³He изменяет спектр нейтронов и, следовательно, скорость реакции [2].

Отравление бериллия интересно главным образом из-за его влияния на реактивность реактора. Важно знать, какое количество ³He и ⁶Li может привести к значительному изменению реактивности реактора. В результате проведенных расчетов оценено количество лития и трития в бериллиевых блоках реактора ИВГ.1М. Влияние отравления бериллиевых блоков в настоящее время составляет 0,1 бетты.

Методика исследования заключалась в решении системы дифференциальных уравнений накопления и выгорания шлаков при облучении нейтронным потоком.

Литература

1. **Серняев Г. А.** Радиационная повреждаемость бериллия. — Екатеринбург: Изд-во «Екатеринбург», 2001. — 396 с.
2. **Прозорова И. В.** Определение содержания трития и гелия в облученном бериллии // Ядерная и радиационная физика: Матер. докладов девятой Междунар. конф. — Алматы: РГП ИЯФ, 2013. — С. 66–69.

Секция 40

ПРОБЛЕМЫ ТЕРМОЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Председатель секции — зав. каф. ОФияС, д.т.н., профессор А.В. Дедов
Секретарь секции — д.т.н., профессор А.В. Лубенченко*

К. В. Агапов, асп.; рук. Д. О. Дуников, к.ф.-м. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРЕХОД НА АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЬ ПОСРЕДСТВОМ РАЗВИТИЯ ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

Текущая публикация затрагивает общие вопросы возможностей генерации энергии посредством замещения топлива.

Как известно, добываемые и потребляемые ресурсы, на данный момент такими являются нефть и природный газ, ограничены в своем количестве. Сама проблема роста потребления добываемых энергоносителей, возрастания их стоимости и повышения экологических требований к окружающей среде толкает человечество прилагать усилия по повышению эффективности преобразования энергии первичных источников в электрическую энергию и развивать альтернативные способы ее производства. Одним из таких альтернативных энергоносителей является водород. Соответственно решаются вопросы и по его производству, хранению, транспортировке [1].

В энергетике принята стратегия по сокращению выбросов вредных веществ в атмосферу, в частности, парниковых газов. В связи с этим растет спрос, и активно развиваются возобновляемые источники энергии. Помимо ветрогенератора и солнечных панелей, сюда относится и термоядерный синтез. Проблему управляемого термоядерного синтеза планируется выполнить с помощью ITER. Однако в виду того, что это экспериментальный реактор и необходимо решить физико-инженерные задачи, электроэнергия не только не будет вырабатываться, но и вся тепловая энергия будет уходить в градирни.

Переход энергетики на экологически чистый энергоноситель, водород, может способствовать развитию и созданию термоядерных реакторов промышленного масштаба, т. к. для получения водорода возможно использование различных технологических способов, таких как электролиз воды, конверсия углеводородов, пиролиз и каталитическое окисление. Выработанный водород в дальнейшем может быть использован в топливных элементах. Преимущество их заключается в том, что они могут располагаться непосредственно рядом с энергопотребляющим объектом, где невозможно подключение к электросети. Помимо этого, отсутствует практически полностью показатели шума и вибрации, а мощность и время работы определяются типом топливного элемента и количеством запасенного топлива.

Литература

1. Towards sustainable energy. Generation of hydrogen fuel using nuclear energy / Janusz Nowotny, Tsuyoshi Hoshino, John Dodson // Int. J. Hydrogen Energy. — 2016. — Vol. 41, Is. 30.

*Е. А. Авдони́на, студ.; Ю. В. Смoрчкова, асс.;
рук. А. В. Дедoв, д. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОРИСТЫХ СРЕД

В последнее время все более актуальным становится вопрос повышения энергоэффективности и безопасности ядерных энергетических установок. Одним из путей его решения является использование тепловыделяющих сборок с микротвэлами, непосредственно охлаждаемых однофазным или двухфазным теплоносителем. Такие ТВС обладают рядом существенных преимуществ по сравнению со сборками из стержневых твэлов [1]. В такой сборке засыпка из шаровых микротвэлов размещается между перфорированными чехлами.

В настоящей работе представлены результаты экспериментального и численного определения коэффициентов сопротивления чехлов, удерживающих засыпку, и самой засыпки непосредственно. Чехлы представляют собой перфорированные пластины.

Для выполнения численного моделирования, где используется модель пористой среды, необходимо знать коэффициенты сопротивления засыпки и чехлов с достаточной точностью.

Экспериментальные исследования проводились на открытом замкнутом гидравлическом контуре. В качестве рабочей жидкости использовалась дистиллированная вода. Рабочий участок представляет собой цилиндр, заполненный шариками из стали. С двух сторон засыпка удерживается перфорированными пластинами. Экспериментально определялся перепад давления на пластине и расположенной за ней шаровой засыпке.

На основе экспериментальных данных получены значения коэффициента гидравлического сопротивления перфорированной пластины при наличии за ней шарового слоя и при его отсутствии, а также вязкостный и инерционный коэффициенты сопротивления шаровой засыпки при осевом течении теплоносителя.

Литература

1. Пономарев-Степной Н. Н., Кухаркин Н. Е., Хрулев А. А., Дегальцев Ю. Г. и др. Перспективы развития микротвэлов в ВВЭР // Атомная энергия. — 1999. — Т. 86, № 6. — С. 443–449.

*А. В. Аверин, студ.; рук. Кулыгин В. М. к. ф. -м. н.
(НИЦ «Курчатовский институт», Москва)*

РАЗРАБОТКА ГЕЛИКОННОГО ИСТОЧНИКА ПЛАЗМЫ

Геликонные источники плазмы (ГИП) являются высокоэффективными источниками плазменных потоков высокой плотности, создаваемыми при распространении и поглощении геликонных волн, возбуждаемыми внешней антенной. В настоящее время ГИП рассматриваются как наиболее перспективные с точки зрения их использования в качестве источника плазмы для мощных (более 1 МВт) безэлектродных плазменных ракетных двигателей с нагревом ионов в условиях ионного циклотронного резонанса [3].

ГИП включает следующие основные системы: (1) газового питания, (2) магнитную и (3) высокочастотную (ВЧ), работающую в мегагерцовом диапазоне.

Основные этапы разработки ГИП:

- анализ теории геликонных волн, которые эффективно поглощаются плазмой и приводят к нагреву электронов из-за затухания Ландау [1];
- разработка конструкции источника. Высокочастотный разряд зажигается в кварцевой трубе диаметром 70 мм, расположенной вдоль оси магнитного поля, с помощью внешней антенны, расположенной поверх трубы;
- выбор и расчет магнитной системы источника, проведение измерений распределения величины магнитного поля вдоль оси источника. В качестве МС выбрана система из 3 катушек, с максимальным током 12 А. Максимальное значение магнитной индукции $B=0.2$ Тл;
- разработка системы возбуждения геликонных волн на основе винтовой антенны [2];
- расчет схемы согласования генератора с плазменной нагрузкой с помощью диаграммы Вольперта–Смита [4];
- проведение испытания элементов ГИП и зондовых измерений параметров вытекающих плазменных потоков [5].

Литература

1. **Франк-Каменецкий Д. А.** Лекции по физике плазмы. — Долгопрудный: Интеллект, 2008.
2. **Max Light and Francis F. Chen** Helicon wave excitation with helical antennas // Phys. Plasmas. April. 1995. Vol. 2, No. 4.
3. **C. Charles, R. W. Boswell and A. Bish** Variable frequency matching to a radiofrequency source immersed in vacuum // J. Phys. D: Appl. Phys. 2013. No 46.
4. **Ф. Смит** Круговые диаграммы в радиоэлектронике. М.: Связь, 1976.
5. **Francis F. Chen** Langmuir Probe Diagnostics // IEEE-ICOPS meeting, 2003.

*Н. Э. Кайсенов¹, рук. С. В. Иванов¹, к.т.н., доц.,
С. В. Анпилов², к. ф.-м. н., В. Л. Ширяевский³, гл. эксп.,
А. А. Кудринский², к.х.н., А. Ю. Маркелов^{1, 3}, вед. инж.
(¹ НИУ МЭИ, ² МГУ им. Ломоносова, ³ АО «ВНИИАЭС», Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ В КАМЕРЕ СЖИГАНИЯ ПИРОГАЗА УСТАНОВКИ ПЛАЗМЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТРО

Одним из перспективных способов переработки твердых радиоактивных отходов (ТРО) средней и низкой активности, образующихся при эксплуатации АЭС, является технология утилизации ТРО в шлаковом расплаве. В РФ данная технология реализована на базе Опытного-демонстрационного инженерного центра по выводу из эксплуатации (ОДИЦ) в г. Нововоронеж. Суть процесса заключается в том, что органическая часть ТРО подвергается пиролизу в печи шахтного типа в условиях недостатка кислорода. При этом процесс плавления шлака проводится в подовой части печи в окислительной атмосфере. В качестве источника нагрева используются плазматроны. Пирогаз, образовавшийся в результате пиролиза, содержит сажу и аэрозоли, поэтому требует дожигания в камере сжигания пирогаза (КСП) при температуре до 1350°C.

Для исследования и подбора наиболее эффективных режимов функционирования различных аппаратов распространено компьютерное моделирование происходящих в них физико-химических процессов [1]. Для КСП такая работа ранее не выполнялась и представляет интерес. Это позволит оптимизировать КСП при дальнейшем тиражировании комплекса плазменной переработки (КПП) РАО.

Цели данной работы:

- построение геометрии КСП для проведения CFD-моделирования;
- проведение газодинамического и теплофизического моделирования для уточнения параметров газа на выходе из КСП;
- моделирование процесса горения дизельного топлива, подаваемого через форсунку в КСП;
- исследование с помощью построенной модели режимов КСП.

Моделирование произведено в программном комплексе Star CCM+ методом конечных элементов. Рассмотренная упрощенная задача имеет следующую постановку и граничные условия. Внутренняя поверхность КСП находится в условиях воздействия высокотемпературных газовых потоков. Температура на внутренних поверхностях стенки КСП равна температуре внутренних технологических сред. Наружная поверхность находится в условиях конвективного воздействия окружающей среды (воздуха). Режим теплопередачи стационарный (установившийся).

Результаты моделирования могут быть использованы в дальнейшем при проектировании подобных КСП высокотемпературных аппаратов и анализа их режимов.

Литература

1. Анпилов С. В., Бобраков А. Н., Кудринский А. А., Маркелов А. Ю., Ширяевский В. Л. Моделирование процесса окислительной очистки пирогаза в камере-дожигателе установки плазменной переработки твердых радиоактивных отходов // Тепловые процессы в технике. — 2016. — № 4. — С. 187–200.

*М. Д. Нгуен, К. В. Чан, Х. Х. Чан, Н. Т. Фам, студ.;
рук. К. Ш. Нгуен, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЕ ПЛАЗМЕННОЙ УСТАНОВКИ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

Разработанная установка (рис. 1) работает с использованием высоковольтного маломощного высокочастотного источника питания MICRO 3025. Установка позволяет получить стационарный поток холодной плазмы с температурой электронов $T_e = 30000\text{--}50000$ К при атмосферном давлении. Рабочий газ — аргон или гелий. Температура атомов и ионов находится в диапазоне $T_a = 295\text{--}305$ К. Выходная струя холодной плазмы обладает уникальным свойством воздействия на разные виды бактерий и биологических тканей благодаря: интенсивному излучению в УФ диапазоне 220–280 нм; образованию большого количества O_3 и высокой концентрации электронов $n_e = 10^{13}\text{--}10^{14}$ см^{-3} [1].

Плазменная головка (рис. 2) состоит из системы электродов из алюминия диаметром $d = 1\text{--}1,2$ мм. Электроды расположены в виде конусообразных стержней с выходным расстоянием $l = 2\text{--}2,5$ мм и помещены в диэлектрическую трубку из стекла или фторопласта диаметром $D = 8\text{--}10$ мм.

Литература

1. **Shi Nguyen-Kuok.** Theory of Low-Temperature Plasma Physics // Atomic, Optical, and Plasma Physics — Springer International Publishing, 2017. — 513 p.

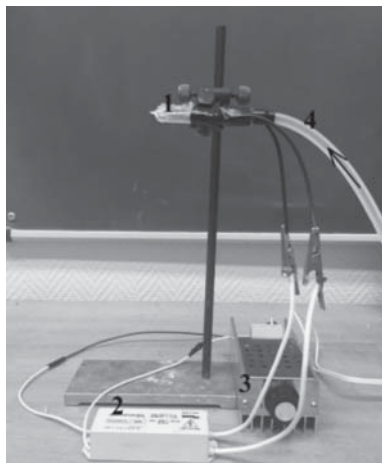


Рис. 1. Экспериментальный стенд разработанной установки:
1 — плазменная головка;
2 — высоковольтный источник питания;
3 — регулятор мощности;
4 — газовая система



Рис. 2. Плазменная головка холодной плазмы

*Т. К. Х. Нгуен, К. Ч. Буй, Т. Т. Нгуен, Х. Х. Нгуен, студ.;
рук. Ши Нгуен-Куок, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОНОВ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ СТРУИ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В лаборатории Физики плазмы НИУ «МЭИ» разработана установка холодной плазмы медицинского назначения с использованием высоковольтного высокочастотного источника питания MICRO 3025. Определение температуры электронов холодной плазменной струи произведено спектральным методом с использованием спектральных линий AgI и AgII. Интегральная интенсивность спектральной линии при переходе атома (иона) с k -го на i -й уровень определяется соотношением [1].

$$I_{ki} = \frac{1}{4\pi} h\nu_{ki} A_{ki} n_k = \int_0^{\infty} i_{ki}(\lambda) d\lambda,$$

где ν_{ki} — частота излучения в центре линии; A_{ki} — вероятность спонтанного перехода с k -го на i -й уровень (первый эйнштейновский коэффициент); n_k — заселенность излучающего (верхнего) уровня перехода; i_{ki} — абсолютная интенсивность спектральной линии.

Температура электронов по относительной интенсивности двух линий данного класса (AgI или AgII) определяется как [1]:

$$kT_e = f \left(\frac{I_{ki}}{I_{mn}} \right) = \frac{E_k - E_m}{\ln \left(\frac{I_{mn} \nu_{ki} A_{ki} g_k}{I_{ki} \nu_{mn} A_{mn} g_m} \right)},$$

где g_k, g_i — статистические веса частиц k -го и i -го уровней.

Обработка данных с усреднением пар спектральных линий дана значение температуры электронов в центре струи $T_e \approx 40000\text{K}$.

Литература

1. **Ши Нгуен-Куок.** Основы математического моделирования низкотемпературной плазмы // Монография — М.: Издательство МЭИ, 2013. — 446 с.

А. К. Смирнова, студ.; рук. А. В. Краюшкин, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

АКТИВНОСТЬ РАДИОУГЛЕРОДА В ГРАФИТЕ РБМК

В 2018 г. планируется вывести из эксплуатации (остановка) первого блока ЛАЭС, т.е. встает вопрос о демонтаже графитовой кладки реактора РБМК, в которой содержится около 1700 тонн графита, непрерывно облучаемого десятки лет. За это время под действием нейтронов в графите накапливались такие радионуклиды как ^3H , ^{36}Cl , ^{60}Co , ^{14}C и много других. ^{14}C , он же радиоуглерод, один из самых долгоживущих изотопов углерода с периодом полураспада 5730 лет, который содержится в кладке реактора РБМК. Утилизация графитовых блоков, содержащих радиоуглерод, учитывая его долгий период полураспада, является важной задачей для физиков.

В настоящей работе была оценена активность радиоуглерода в кладке реактора РБМК. Результаты расчетов сравнивались с различными данными по активности ^{14}C при испытаниях ядерного оружия, работе промышленных реакторов, естественного образования в атмосфере. Смоделирована гипотетическая авария с выбросом всего накопленного в реакторном графите радиоуглерода. Годовая доза для населения, проживающего на границе санитарно-защитной зоны составила 7 мкЗв, что существенно меньше предельно допустимой дозы. Проведен обзор возможных методов снижения активности графита: очистка низкотемпературной плазмой, продувка инертными газами. Результаты работы важны для понимания серьезности угрозы от облученного графита и планирования процедуры его утилизации. Вследствие того, что активность ^{14}C в кладке реактора РБМК составляет $1,25 \cdot 10^5$ Бк/г [1], это относит реакторный графит ко второму классу радиоактивных отходов, что предусматривает его утилизацию в ПГЗРАО (пунктах глубинного захоронения радиоактивных отходов) ниже 100 м под землей.

Литература

1. **Бурлаков Е. В., Давыдова Г. Б., Захарова Л. Н., Краюшкин А. В.** Расчетное обоснование радиационной безопасности выполнения работ по восстановлению ресурсных характеристик элементов реакторной установки энергоблока № 1 ЛАЭС, Отчет НИЦ «Курчатовский институт», инв. № 211-14/12-92, 2012.

*В. А. Ячук, О. Н. Павлов, студенты;
рук. А. В. Лубенченко, проф. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ С УГЛОВЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Мир растет, но вместе с тем мы стремимся уменьшить устройства, которые нас окружают. Наноразмерные пленки из NbN применяются в криогенной наноэлектронике: на их основе создаются НЕВ (hot electron bolometer mixer или смеситель на эффекте электронного разогрева в сверхпроводящих пленках) [1].

Ниобий подвержен сильному окислению. При окислении пленок на воздухе появляются различные оксиды. Оксиды ниобия по своей природе, в большинстве своем, диэлектрики, это сказывается на сверхпроводящих свойствах материала. Вызывает интерес структура окисленных пленок.

В работе методом РФЭС с угловым разрешением исследовали тонкие пленки нитрид ниобия (толщина — 5–10 нм). Пленки были получены методом магнетронного напыления. Эксперименты проводились с помощью модуля электронно-ионной спектроскопии на базе платформы Нанофаб 25 (НТ-МДТ). Метод РФЭС с угловым разрешением дает возможность провести неразрушающий послойный анализ тонких, неоднородных пленок. Вариация углов осуществлялась вращением мишени относительно направления на энергоанализатор. Изменяя углы, мы получили спектры при различной глубине зондирования, благодаря чему и возможно сделать послойный анализ пленок. Углы между нормалью к поверхности и энергоанализатором были равны: 0°, 50°, 60°, 70°. По полученным данным проводили вычисления и обработку спектров методом [2].

В результате анализа различных пленок было установлено, что на поверхности образуется слой высшего оксида Nb₂O₅ толщиной порядка 2 нм, под ним слой NbO_x и NbNO_x толщиной меньше 1 нм. Далее расположена нитридная пленка, а между NbN и кремниевой подложкой появляется переходный слой NbN_xSiO_y.

Литература

1. **Meledin D. et al.** // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2009. V. 57, 1. P. 89.
2. **Lubchenko A. V. et al.** XPS study of multilayer multicomponent films // Applied Surface Science. 2018. V. 427. P. 711–721.

В. Д. Жакетов, м.н.с.;
рук. Ю. В. Никитенко, д. ф.-м. н. (ОИЯИ, Дубна)

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСУЩЕСТВОВАНИЯ ФЕРРОМАГНЕТИЗМА И СВЕРХПРОВОДИМОСТИ В СЛОИСТЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОГЕТЕРОСТРУКТУРАХ МЕТОДОМ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ НЕЙТРОНОВ

Магнитное поведение сверхпроводников и ферромагнетиков противоположно. В ферромагнетик магнитное поле свободно проникает, в то время, как сверхпроводник стремится его полностью вытеснить, компенсируя поверхностными токами. Но реализовать сосуществование этих двух фаз в одном объеме возможно. Например, это возможно в слоистой наногетероструктуре сверхпроводник/ферромагнетик с толщиной магнитного слоя порядка корреляционной длины сверхпроводимости в ферромагнетике, тогда сверхпроводящие электронные пары будут проникать в магнитный слой, но будет сохраняться магнитный параметр порядка. При этом теоретически предсказывается модификация доменной структуры ферромагнитного слоя. Это явление известно, как криптоферромагнетизм. Единственной методикой, позволяющей напрямую зарегистрировать описанный физический эффект является рефлектометрия поляризованных нейтронов. Малоугловое рассеяние и дифракция нейтронов в плоскости перпендикулярной плоскости отраженного пучка может дать информацию о неоднородностях с характерным размером 1–1000 нм, что соответствует предсказываемому размеру криптоферромагнитных доменов. В работе исследовались слоистые структуры с ферромагнитными слоями FeV и NiCu [1–3].

Литература

1. **Zhaketov V.D. et al.** Relaxation of the magnetic state of the ferromagnetic-superconducting layered structure // J. Exp. Theoret. Physics. 2017. Vol. 152, N 3 (9), P. 565–580/
2. **Zhaketov V.D. et al.** Magnetism in the structures with ferromagnetic and superconducting layers // J. Exp. Theoret. Physics. 2017. Vol. 124, N 1. P. 114–130/
3. **Nikitenko Yu. V. et al.** Detection of Magnetic Nanolattice in Structure Ta/V/Fe_{0.7}V_{0.3}/V/Fe_{0.7}V_{0.3}/Nb/Si with Magnetic and Superconducting Layers // JINR Communication. P14-2014-60. Dubna, 2014.

*К. А. Рогозин, К. С. Кондратенко, студ.;
рук. С. Д. Федорович, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

КОНСТРУКЦИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ПЛАЗМОТРОНА СО СТЕРЖНЕВЫМИ РАСХОДЯЩИМИСЯ ЭЛЕКТРОДАМИ

Разработанный плазмотрон позволяет выполнить обработку поверхности пластиковых деталей в воздухе при атмосферном давлении. Создание и массовое промышленное производство полимерных материалов с модифицированными свойствами поверхности, в частности, с повышенными адгезионными и прочностными характеристиками, способствует повышению срока службы и прочности защитных покрытий [1].

Наиболее известной формой разряда для обработки поверхности пластиковых деталей является так называемая косвенная дуга, которая горит внутри плазмотрона между электродом и соплом, а плазмообразующий газ подается через эту дугу и выдувает через сопло плазменную струю. Такие плазмотроны могут иметь цилиндрическую или прямоугольную разрядную камеру. Основное назначение таких плазмотронов — реализация процессов обработки металлов (резка, сварка).

В настоящей работе сконструирован и испытан плазмотрон со стержневыми расходящимися электродами внутри разрядной камеры в форме усеченной треугольной призмы. Параметры плазмотрона: рабочий газ — воздух атмосферного давления, межэлектродное расстояние от 1,5 см до 8 см, напряжение разряда 10–15 кВ, частота 30 кГц, диаметр электродов — 1 мм. Время обработки поверхности 1–5 с.

Авторами получены экспериментальные данные по смачиваемости обработанной поверхности ПВХ, акрила, полиэтилена. Разработана методика обработки поверхности пластиковых материалов сложной формы. Выполнены работы по изготовлению источника электропитания плазмотрона, разрядной камеры. В настоящее время выполняются работы по выбору оптимальных режимов обработки образцов и усовершенствования схемы электропитания.

Литература

1. **Головятинский С. А.** Модификация поверхности полимеров импульсной плазмой атмосферного давления // Вестник Харьковского университета. 2004. № 628.

*Сергеев Н. С. студент;
рук. С. Д. Федорович, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА ГЕЛИЯ В ПЛАЗМЕННОМ СТЕНДЕ

На кафедре ОФияС НИУ МЭИ создана плазменная установка для исследования взаимодействия высокотемпературной плазмы с металлической поверхностью и плазменно-тепловых испытаний тугоплавких металлов, в том числе вольфрама, молибдена, стали и др. Цикл выполняемых работ направлен на создание технологии получения уникальной высокопористой структуры поверхности тугоплавких металлов с размером пор и нановолокон до 50 нм. Такие высокопористые материалы нового поколения востребованы для эксплуатации при экстремальных тепловых и плазменно-пучковых нагрузках, в том числе, для термоядерных и атомных реакторов.

Основные параметры плазменной установки представлены в работах [1, 2]. Проектируемые параметры стационарного (длительностью до 60 мин и более) плазменного разряда: ток плазменного разряда — до 30А, плотность плазмы — до 10^{18} м^{-3} , электронная температура — до 4 эВ с фракцией горячих электронов — до 30 эВ, ионный поток из плазмы на металлический тестовый образец — до $3 \times 10^{21} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, рабочий газ — гелий, аргон, дейтерий.

Для достижения соответствующих параметров необходим предварительный запуск тлеющего разряда. Процесс ступенчатой ионизации возбужденных атомов тлеющего разряда позволит получить необходимую степень ионизации плазмы.

Авторами получены экспериментальные данные по условиям зажигания и поддержания тлеющего разряда гелия в катодном узле установки. Получены оптические спектры разряда. Выполнен анализ состава остаточных газов в разрядной камере. Спектральные линии представляют собой в основном линии возбужденных атомов гелия.

Работа поддержана грантом РНФ 16-19-10531.

Литература

1. **Будаев В. П.** // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез. 2015. Т. 38. Вып. 4.
2. **Takamura S.** // J. Nucl. Materials 463. 2015. P. 325–328.

*К. А. Рогозин, К. С. Кондратенко, студенты;
рук. С. Д. Федорович, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ НАГРЕВА ГЕКСОБОРИДЛАНТАНОВОГО КАТОДА

Разработанный катодный узел позволяет получить ток эмиссии до 20 А при напряжении до 320 В, необходимый для обеспечения процесса ступенчатой ионизации возбужденных атомов плазмообразующего газа (гелия, аргона, дейтерия) и последующего получения разряда с заданными параметрами плазменной установки НИУ МЭИ. Плотность плазмы — до 10^{18} м^{-3} , электронная температура — до 4 эВ с фракцией горячих электронов — до 30 эВ, ионный поток из плазмы на металлический тестовый образец — до $3 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Катодный узел состоит из шести брусков гексаборида лантана LaB_6 размерами $7 \times 7 \times 50$ мм. Брусочки LaB_6 закреплены с помощью ленты из тантала симметрично вдоль осевой линии вакуумной камеры, образуя шестигранную компактную конструкцию. Для нагрева брусочков LaB_6 до температуры 1700 К используется нагреватель, изготовленный из танталовой проволоки.

В работе было экспериментально установлено, что при нагреве танталовой проволоки до 2000 К сопротивление возрастает в 4 раза, по сравнению с сопротивлением, при комнатной температуре.

Для обеспечения необходимой мощности 1500 Вт, с учетом роста сопротивления, была решена задача повышения напряжения питания с 42 В (источник питания фирмы ЭЛИМ, г. Санкт-Петербург) до 70 В путем последовательного включения двух одинаковых источников питания с учетом особенностей управляемых импульсных источников питания с регулируемым выходным напряжением и током.

Авторами получены экспериментальные данные по параметрам работы источников, показана работоспособность схемы последовательного включения.

Работа поддержана грантом РФФИ 16-19-10531.

Литература

1. Будаев В. П., Федорович С. Д., Лукашевский М. В. и др. Плазменная установка НИУ «МЭИ» для испытаний тугоплавких металлов и создания высокопористых материалов нового поколения // ВАНТ. Серия Термоядерный синтез. 2017. Т. 40. № 3.

Секция 41

ТЕПЛОФИЗИКА

Председатель секции — д.ф.-м.н., профессор О.А. Синкевич
Секретарь секции — к.т.н., доцент В.В. Глазков

А. В. Абрамов, студент;
рук. Е. В. Свиридов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

АСНИ МНОГОКАНАЛЬНОЙ РЕГИСТРАЦИИ И ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ О ПОЛЯХ ОСРЕДНЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

При экспериментальном исследовании полей осредненной температуры в МГД-потоках жидкого металла необходимо использовать аппаратные средства измерения сигналов термопар, обладающие высокой разрешающей способностью и низким уровнем собственных шумов. Функциональные термопарные модули, используемые в настоящий момент, не позволяют тиражировать элементы АСНИ для ввода в эксплуатацию новых экспериментальных стендов по исследованию МГД-теплообмена жидких металлов.

Целью работы является разработка недорого тиражируемого модуля регистрации сигналов термопар и получение экспериментальных данных о полях температуры на экспериментальном стенде МЭИ-ОИВТ РАН. Модуль построен на базе АЦП с низким уровнем шума типа MAX31856, имеющих управляемый предусилитель, фильтр низких частот, схему термокомпенсации холодного спая термопар. Управление АЦП осуществляется микроконтроллером, взаимодействующим с верхним уровнем АСНИ по проводной, беспроводной сети или последовательным интерфейсам типа USB, RS485. Программное обеспечение многоканального опроса реализовано в среде NI LabVIEW. Модуль позволяет регистрировать сигналы термопар различных типов (хромель-алюмель, хромель-копель, медь-константан и др.) с возможностью автоматического учета температуры холодных спаев, а также регистрировать низковольтные сигналы с последующим расчетом температур по индивидуальным градуировочным зависимостям.

Литература

1. **Безносков А. В., Новожилова О. О., Савинов С. Ю.** Экспериментальные исследования процессов теплообмена и профилей температур потока тяжелого жидкометаллического теплоносителя // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. Обнинск. 2008. № 3.
2. **Maxim Integrated Products, Inc.** MAX31856 Precision Thermocouple to Digital Converter with Linearization. 2015.

*Р. М. Ахмедагаев, студент;
рук. Я. И. Листратов к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ПРЯМОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МГД-ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В КРУГЛОЙ ТРУБЕ В ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ С УЧЕТОМ ТГК

В работе методом прямого численного моделирования (DNS) [1] исследуется МГД-теплообмен при турбулентном течении жидкого металла (ЖМ) — ртути в круглой горизонтальной трубе в продольном магнитном поле с учетом термогравитационной конвекции (ТГК).

Моделирование проводилось со следующими характерными числами подобия: число Прандтля $Pr = 2.72 \cdot 10^{-2}$, диапазон чисел Рейнольдса $Re = 4 \cdot 10^3 - 16 \cdot 10^3$, чисел Гартмана $Ha = 0 - 600$ и чисел Грасгофа $Gr = 0 - 10^8$. В ходе работы были рассмотрены задача МГД-теплообмена в продольном магнитном поле в круглой горизонтальной трубе с учетом ТГК с периодическими граничными условиями и аналогичная тестовая задача для длинной трубы. В настоящее время применение ЖМ имеет хорошие перспективы. Строящийся термоядерный реактор с магнитным удержанием плазмы — типа «токамак», в г. Кадараш во Франции — это одно из таких перспективных направлений для применения.

Расчет задачи по исследованию влияния продольного магнитного поля на течение ЖМ показал достаточно корректное соответствие с опытами, проводимыми ранее на кафедре ИТФ в НИУ «МЭИ». Были получены данные, связанные с неполным подавлением турбулентности в потоке при больших числах Гартмана в рассматриваемой геометрии, над которыми проведен и представлен детальный анализ. Интерес вызывают осредненные профили скорости и температуры, интенсивности турбулентных пульсаций скорости, а также сечения трубы, в которых наблюдается несимметричное распределение температуры стенки [2].

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства образования и науки РФ № 13.9619.2017/8.9.

Литература

1. **Zikanov O., Listratov Y., Sviridov V. G.** Natural convection in horizontal pipe flow with strong transverse magnetic field // J. Fluid Mech. 720 (2013) 486–516.
2. **Sviridov V. G., Razuванov N. G., Ustinov A. V.** The of Natural Convection of Local Heat. Transfer for a Liquid Metal Flow in a Heated Horizontal Tube under a Longitudinal Magnetic Field. — 2nd EF Conference in Turbulent Heat Transfer. 1998. Manchester. UK. P. 73–76.

Г. Р. Бадретдинова, студ.;
рук. А. И. Хайбуллина, ст. препод. (КГЭУ, Казань)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕШНЕЙ ТЕПЛОТДАЧИ В ШАХМАТНЫХ ПУЧКАХ ПРИ НАЛОЖЕНИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ

В работе численным методом исследован внешний коэффициент теплоотдачи при поперечном обтекании пучков труб, пульсирующем потоком. Численное моделирование выполнялось в программе ANSYS Fluent 14.0 методом конечных объемов. Расчет оптимальной сетки произведен по методике, приведенной в работе [1]. Числа Рейнольдса лежали в диапазоне $100 \leq Re \leq 1000$, числа Прандтля $215 \leq Pr \leq 363$, частота и безразмерная амплитуда пульсаций находилась в диапазоне $0,2 \leq f \leq 0,5$, Гц, $15 \leq \beta \leq 35$, скважность пульсаций $0,25 \leq \psi \leq 0,5$. Исследование внешней теплоотдачи при низкочастотных пульсациях проводилось для 9 шахматных пучков. По результатам моделирования получено критериальное уравнение позволяющее рассчитывать внешнюю теплоотдачу при пульсирующих течениях в пучках труб различной конфигурации:

$$\frac{Nu_p}{Nu_{st}} = 0,954 Re^{-0,201} \cdot Pr^{-0,211} \cdot \beta^{0,184} \cdot Fo^{-0,230} \cdot \psi^{-0,053} \cdot \varphi^{0,085} \cdot s_1 / D^{0,287} \quad (1)$$

где Nu_{st} — числа Нуссельта при стационарном течении можно найти по критериальному уравнению

$$Nu_{st} = 0,354 \cdot Re^{0,6} Pr^{0,33} \varphi^{-0,1} \cdot (s_1 / D)^{-0,45} \cdot (\mu_{ж} / \mu_{ст})^{0,14} \quad (2)$$

Уравнение (1) получено для диапазонов $215 \leq Pr \leq 363$, $0,25 \leq \psi \leq 0,5$, $100 \leq Re \leq 1000$, $15 \leq \beta \leq 35$, чисел Фурье $5,81 \cdot 10^{-4} \leq Fo \leq 14,53 \cdot 10^{-4}$, продольного шага $1,25 \leq s_1 / D \leq 1,75$ и угла атаки $30^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$. Погрешность уравнения (1) в среднем составило около 5%.

Показано, что в зависимости от параметров пульсаций теплоотдача Nu_p / Nu_{st} может быть увеличена до 3 раз.

Установлено, что увеличение β и f приводит к повышению Nu_p / Nu_{st} , а увеличение Re , Pr и ψ к снижению Nu_p / Nu_{st} .

Литература

1. Хайбуллина А. И., Хайруллин А. Р., Сиявин А. А., Ильин В. К. Моделирование турбулентности пульсирующего потока теплоносителя в коридорном пучке труб // Сборник статей V Всероссийской научной конференции «Теплофизические основы энергетических технологий» с международным участием. Томск. Изд-во Томского политехнического университета. 2014. С. 368–372.

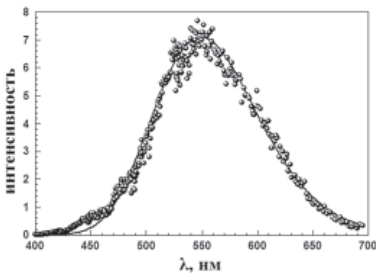
*М. А. Бодунова, О. В. Куликов, студенты;
рук. Д. А. Бирюков, к. т. н., инж.;*
рук. Д. Н. Герасимов, к. ф.-м. н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

О ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ МНОГОПУЗЫРЬКОВОЙ СОНОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

В работе [1] было высказано предположение, что сонолюминесценция (СЛ) — свечение жидкости при воздействии ультразвука (УЗ) — может объясняться высвечиванием люминесцентных центров, образующихся в жидкости при наличии УЗ-поля. Таким образом, спектр СЛ должен отличаться как от спектра равновесного теплового излучения, описываемого планковской кривой, так и от спектров электрических разрядов с ярко выраженными линиями и полосами отдельных атомов и молекул. Спектр СЛ должен представлять собой одиночный «холм» с центром, соответствующим энергии перехода, аналогично, например, спектрам излучения сцинтилляторов NaI(Tl), CsI(Na), CsI(Tl) и др. [2].

Во многих случаях форма спектра люминесценции может быть описана гауссовской кривой по энергиям, то есть спектральная интенсивность излучения есть

$$I_{\lambda} d\lambda \sim \exp\left(-\frac{(\varepsilon - \varepsilon_0)^2}{\sigma^2}\right) d\varepsilon \sim \frac{1}{\lambda^2} \exp\left(-\frac{(\lambda^{-1} - \lambda_0^{-1})^2}{\Delta^2}\right) d\lambda \quad (1)$$



На рисунке показан экспериментальный спектр многопузырьковой СЛ глицерина (точки), измеренный с помощью монохроматора УМ-2 и фотодатчика Hamamatsu H8711-300, вместе с теоретическим спектром (кривая), рассчитанным по формуле (1). Таким образом, явление СЛ может быть объяснено изменением структуры жидкости в УЗ поле, вследствие которого жидкость приобрела сцинтилляционные свойства.

Литература

1. Бирюков Д. А., Герасимов Д. Н. Динамика интенсивности многопузырьковой сонолюминесценции // Письма в ЖТФ. 2017. Т. 43. № 11. С. 40–45.
2. Lecoq P. et al. Inorganic Scintillators for Detector Systems. Springer. 2006.

А. А. Борцова, студент;
рук. О. А. Синкевич, д. ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ДВУХФАЗНЫЕ ТЕЧЕНИЯ В СФОРМИРОВАВШЕЙСЯ ВОРОНКЕ ТОРНАДО

Для явлений, связанных с торнадо, важно выявить условия, приводящие к зарождению вихря и превращению его в торнадо. Для этого необходимо уметь оценивать квазистационарные характеристики смерча.

Используя модель течения в воронке торнадо [1], в [3] получено соотношение для формы воронки торнадо:

$$r_T = \Omega e^{bz/2} \sqrt{8v_T \gamma G} / \sqrt{\pi \rho(0) \xi_0 b a^4 M^2} \quad (1)$$

где $G=const$ — расход потока влажного воздуха через воронку, M — число Маха, a — скорость звука, b — коэффициент из аппроксимации влажности, z — высота, ξ_0 — влажность в основании торнадо, $\rho(0)$ — плотность на оси воронки, Ω — интенсивность вращения воронки, γ — показатель адиабаты, v_T — коэффициент турбулентной кинематической вязкости. Оценивая расход потока по фотографии торнадо и формуле (1), для смерча категории F3 г. Додж-Сити: $G \approx 3.2 \times 10^5$ кг/с. Из расхождения полученных форм, предполагаем, что в торнадо влажность с высотой меняется быстрее, чем в свободной атмосфере (в данном торнадо в 9 раз). Опираясь на работу [1], для массы стенок воронки получаем:

$$M = 2\Delta p S \delta / V_\varphi^2 \quad (2)$$

где Δp — перепад давлений, S — площадь боковой поверхности торнадо, δ — толщина стенки, V_φ — скорость вращения воздуха в воронке. Оценим необходимую влагу для стенок такой массы, используя (2):

$$\xi = 2\Delta p / \left(V_\varphi^2 \rho_{\text{воды}} \right) - \rho_{\text{воз}} / \rho_{\text{воды}} \quad (3)$$

где $\rho_{\text{воз}}$, $\rho_{\text{воды}}$ — плотность воздуха и воды. Для рассматриваемого смерча: $M \approx 780$ тонн, а $\xi = 1,229 \times 10^{-3}$. В результате работы была получена форма воронки, соответствующая воронкообразному торнадо, оценены его основные характеристики.

Литература

1. Кушин В. В. Гравитационно-тепловые процессы в смерчах. М.: ЦНИАТОМИНФОРМ. 1987.
2. Синкевич О. А. Модель течения в воронке торнадо с учетом фазовых превращений // ТВТ. 1996. Т. 34. № 6. С. 1936–941.
3. Синкевич О. А., Борцова А. А. Двухфазные течения в сформировавшейся воронке торнадо // Тез. Конф. СПТЭ-2017. Т. 1. с. 77–79.

Д. Ю. Черныш, студент; рук. И. А. Беляев, к.т.н., инж. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОБМЕНА ПРИ СМЕШАННОЙ КОНВЕКЦИИ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В НАКЛОННОМ КАНАЛЕ

Область применения жидких металлов в технике, как правило, сопряжена со значительными тепловыми нагрузками. В этом случае термогравитационная конвекция способна оказывать существенное влияние на течение. На предыдущих этапах исследования смешанной конвекции в каналах были экспериментально обнаружены специфические упорядоченные структуры, имеющие термогравитационную природу, которые естественным образом возникают под воздействием сильных магнитных полей [1]. Крупномасштабные упорядоченные вихри могут развиваться и устойчиво существовать в потоке ЖМ не только в условиях близких к системам охлаждения токамака, но и при отсутствии сильного внешнего МП (как, например, в проектах быстрых ядерных реакторов, жидкометаллических аккумуляторов, металлооксидных химических реакторов, электролитических ванн, кристаллизаторов) при некоторых соотношениях критериев Рейнольдса и Грасгофа. Ясное понимание закономерностей МГД-конвекции способно дать новые подходы к контролю и диагностике таких систем, к увеличению их надежности и эффективности.

В рамках данной работы на экспериментальном стенде РК-3 «HELMEF» в ОИВТ РАН были проведены исследования теплообмена при опускном течении жидкого металла (ЖМ) в трубе с различными углами наклона в поперечном магнитном поле (МП) с однородным по длине и по периметру обогревом. Зондовым методом измерены поля осредненной и пульсационной температуры, используя эти данные, получены распределения локальных и средних коэффициентов теплоотдачи (КТО), чисел Нуссельта, статистические характеристики пульсаций температуры.

Литература

1. **Belyaev I. A. et al.** Liquid metal downflow in an inclined heated tube affected by a longitudinal magnetic field // *Magneto hydrodynamics*. 2015. V. 51. №. 4. P. 673–684.

К. В. Чирухин, студ. ;
рук. А. И. Хайбуллина, ст. препод. (КГЭУ, Казань)

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИ НАЛОЖЕНИИ ПУЛЬСАЦИЙ НА ПОТОК ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ОБТЕКАНИИ КОРИДОРНОГО ПУЧКА ТРУБ

В данной работе была предложена методика оценки эффективности при применении пульсаций для повышения теплоотдачи элементов теплообмена. С помощью данной методики, по результатам численного моделирования представленных в работе [1] была рассчитана теплогидравлическая эффективность η пучков труб коридорного пучка труб при наложении на поток жидкости противоточных несимметричных пульсаций, что позволило оценить эффективность пульсаций при интенсификации теплообмена в коридорном пучке труб. Эффективность метода интенсификации также можно оценить с помощью удельного коэффициента теплогидравлической эффективности при условии $Re_p = Re_{st}$ (фактор аналогии Рейнольдсов (ФАР)) в форме

$$\eta = E_p / E_{st} = (Nu_p / Nu_{st}) / (\xi_p / \xi_{st}) \quad (1)$$

где Re_{st} , E_{st} , Nu_{st} , ξ_{st} , Re_p , E_p , Nu_p , ξ_p — числа Рейнольдса, коэффициенты эффективности Кирпичева, числа Нуссельта и гидравлическое сопротивление в канале со стационарным и при пульсирующем течении.

Расчеты теплогидравлической эффективности η в пульсирующем течении проводились для диапазонов чисел Рейнольдса $Re 100 \leq Re \leq 900$, частот $0,125 \leq f \leq 0,5$ Гц, безразмерных относительных амплитуд пульсаций $1,25 \leq \beta \leq 4,5$ и произведения β на числа Струхала $Sh 0,026 \leq \beta Sh \leq 2,5$.

В результате расчетов было выявлено, что с увеличением чисел Re происходит увеличение η не зависимо от амплитуды β и частоты пульсаций f . С увеличением же произведения βSh происходит снижение η во всем диапазоне произведения βSh .

Литература

1. Хайбуллина А. И., Хайруллин А. Р., Ильин В. К. Теплообмен в проточном канале с пучком труб коридорного расположения при наложении на поток жидкости противоточных низкочастотных несимметричных пульсаций // Известия ВУЗов «Проблемы энергетики». 2016. № 11–12. С. 64–75.

*А. А. Данилова, студент; рук. В. В. Глазков, к.т.н., доц.;
рук. В. В. Меркулов, к.т.н., доц.; (НИУ «МЭИ»)*

ПАРОВОЙ ВЗРЫВ В БАСЕЙНЕ ВЫДЕРЖКИ В РАМКАХ СЦЕНАРИЯ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ НА АЭС

Как правило, вероятность парового взрыва на АЭС рассматривается в рамках следующего сценария. На обесточенной АЭС кориум, образовавшийся в результате расплавления активной зоны реактора, проплавляет стенку реактора, а последующий контакт кориума с теплоносителем приводит к возникновению парового взрыва. Однако многолетние исследования показали, что вероятность такого развития событий крайне мала, а моделирование самого парового взрыва в подобных условиях не дало определенных результатов. В данной работе предлагается иной, по всей видимости, ранее не предполагаемый, вариант развития событий на АЭС, приводящий к возникновению парового взрыва.

За основу сценария взята цепь событий, произошедших на АЭС «Фукусима 1» в Японии в 2011 году. При полном обесточивании АЭС с отказом резервных источников питания, как это произошло на Фукусиме, в бассейне выдержки вода перестанет циркулировать и охлаждать отработавшие ТВС. Теплоноситель начинает испаряться за счет остаточного тепловыделения, выделяемого сборками, и уровень жидкости начинает понижаться, оголяя стеллажи с ТВС. Начинается неконтролируемый рост температуры топливных сборок, с последующим включением паро-циркониевой реакции, скачкообразно увеличивающей тепловыделение и распространяющейся по всем ТВС в бассейне выдержки. Стальные элементы ТВС начинают плавиться, а циркониевые оболочки ТВЭЛ теряют прочность и деградируют. Образовавшаяся в результате двухфазная высокотемпературная смесь, состоящая из расплава стали, твердого высокодисперсного оксида циркония и твердых же таблеток оксида урана обрушивается в воду. Как показывают расчеты, к моменту обрушения уровень воды в бассейне выдержки еще достаточно высок и составляет около 0.7 метра. В результате обрушения есть высокая вероятность возникновения парового взрыва [1], мощность которого, даже при обрушении одиночной ТВС, может быть эквивалентна взрыву 5 кг ТНТ. Взрыв такой силы может спровоцировать обрушение остальных ТВС, что, в свою очередь, приведет к еще большему паровому взрыву с реальной возможностью разгерметизации контеймента.

Литература

1. **Kudinov P., Konovalenko A., Karbojian A.** Experimental Investigation of Energetic Melt-Coolant Interactions in Stratified Configuration // SERENA Project Seminar. Cadarache. France. 5th–7th November 2012.

*Дееб Равад, студ. (Сирия);
рук. Д. В. Сиденков, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОБМЕНА В ТРУБОПРОВОДЕ, ОБОРУДОВАННОМ СИСТЕМОЙ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА

Применение кабельного электрообогрева трубопроводов может иметь целый ряд технологических преимуществ, а именно: возможность монтажа по месту; компактность конструкции; унификация оборудования; приемлемые капитальные затраты.

Наряду с этим актуальным является вопрос оптимизации энергозатрат при применении кабельных систем для поддержания стабильной температуры транспортируемого вещества (компенсация теплопотерь), разогрева остановившегося трубопровода, подогрева движущейся среды до заданной температуры, определения оптимальной длины обогреваемого участка. Решение этих задач позволяет оптимизировать эксплуатационные затраты.

В лаборатории кафедры ТОТ создан экспериментальный стенд для оценки эффективности кабельной системы электрообогрева, исследования теплоотдачи и гидравлического сопротивления при течении жидкости в профилированном канале.

В целях дооснащения стенда дополнительными датчиками температуры выполнено численное моделирование течения жидкости в обогреваемом канале с помощью пакета Ansys, получены распределения скорости, давления, температуры в диапазоне режимных параметров работы системы электрообогрева. Определены коэффициенты теплоотдачи и сопротивления в различных режимах течения, проведено сопоставление результатов с данными работы [1].

Литература

1. **Gnielinski V.** On heat transfer in tubes // Int. Journal of Heat and Mass Transfer 63 (2013) 134–140.

Р. А. Дуплянкин студент; рук. В. В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛЕНОЧНОГО КИПЕНИЯ НА КАПЛЯХ РАСПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

На основе известной модели Бромли [3] произведена разработка модели пленочного кипения на нагретой сфере и полусфере с целью ее дальнейшего применения в создании модели парового взрыва. Имеется ряд экспериментальных данных по измерению толщины паровой пленки [1, 2, 4] которые использовались для тестирования созданной модели.

Полученное дифференциальное уравнение позволяет рассчитывать толщину паровой пленки для различных диаметров сферы, а также при различных недогревах жидкости, окружающей ее. В результате численного решения были получены толщины паровых пленок для воды и фреона-113, согласующиеся с результатами экспериментов [1, 2, 4].

Обычно при пленочном кипении в верхней части шара происходит образование пузырей, наполненных паром и отрывающихся от пленки за счет действия архимедовых сил. Из полученных результатов следует, что существует такой недогрев, при котором наблюдается замыкание пленки и пузыри прекращают отрываться. По всей видимости, механика этого процесса следующая. Пар, образующийся в нижней части шара, поднимается по пленке вверх, при этом, с приближением к верхней точке, происходит увеличение толщины паровой пленки. Из-за этого снижается тепловой поток, подводимый к жидкости на поверхности пленки, и пар начинает конденсироваться на ней. В итоге, при некоторой величине недогрева, весь образовавшийся пар конденсируется, что приводит к прекращению отрыва пузырей и замыканию пленки. В настоящей работе был определено сочетание параметров (недогрев жидкости, радиус сферы и др.), при которых осуществляется режим замыкания. Для других режимов получена частота отрыва пузырей на верхней образующей сферы, и высказано предположение, что частота колебаний пленки определяется частотой отрыва этих пузырей.

Литература

1. **Ивочкин Ю. П.** Исследование механизмов термогидродинамических и МГД процессов с жидкометаллическими рабочими телами: дис. д.т.н.: 01.04.14. М.: 2015. 365 с.
2. **Agaltsov A. M., Zeigarnik Y. A.** Investigation of vapor film motion regularities at boiling liquids // EPJ Web of Conferences. 2013. Vol. 45. doi:10.1051.
3. **Bromley L. A.** Heat transfer in stable film boiling // Chemical Eng. Progress. 1950. V. 46.
4. **Frederking T. H. K., Chapman C., Wang S.** Heat Transport and Fluid Motion During Cooldown of Single Bodies to Low Temperature // Advan. Cryog. Eng. 1965. p. 353.

*В. А. Рязанцев, М. Ю. Горин, П. К. Канин, студенты;
рук. А. Р. Забилов, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ СОДЫ В ВОДЕ НА ЗАКАЛКУ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

Кипение — это процесс теплообмена, который широко используются в разных областях человеческой деятельности, вследствие своей высокой интенсивности. Характерной особенностью пленочного кипения является отсутствие контакта жидкости с горячей поверхностью. В работе [1] приводится информация о том, что раствор соды с водой относится к сильнодействующим охладителям и используется при закалке металлов. Для проверки этого утверждения, на кафедре ИТФ были проведены эксперименте на стенде «Режимы охлаждения высокотемпературных поверхностей», позволяющая изучать процессы охлаждения высокотемпературных поверхностей в жидкостях при низких температурах, создавая тем самым большие недогревы. Эксперименты проводились при атмосферном давлении. Рабочим участком служил 38 мм шар из нержавеющей стали. В качестве исследуемой жидкости использовался раствор соды в воде, с массовой концентрацией соды 1, 2, 3%. Температура изменялась от +30°C до 100°C. Максимальный уровень недогрева составлял 70°C.

В ходе экспериментов было обнаружено, что добавление малой концентрации карбоната натрия в воду способствует повышению температуры, при которой происходит потеря устойчивости паровой пленки, но не усиление самого процесса устойчивого пленочного кипения. Также, на основании решения обратной одномерной нестационарной задачи теплопроводности были рассчитаны коэффициенты теплоотдачи и плотности теплового потока в режимах интенсивного и устойчивого пленочного кипения. Максимальные значения плотности теплового потока достигали 3–4 МВт/м² при температурном напоре более 250°C.

Работа выполнена в НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант № 17-79-20402).

Литература

1. **Зимин А. Л., Игнатов А. В.** Техминимум контролера-машиностроителя. Пособие для контролеров механических цехов. Издание третье, исправленное и дополненное. Москва — Свердловск: Машгиз. 1957. 320 с.

Хоанг Тхи Тху Ха, студент;
рук. Д. Н. Герасимов, к. ф.-м. н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

СПЕКТРАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА АРГОНО-ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ

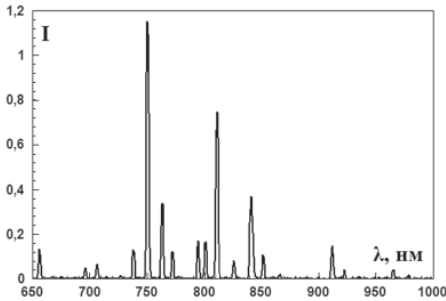


Рис. 1.

Спектр плазмы, содержащей линии как кислорода, так и водорода, может быть получен в разных условиях, например в дуговом плазмотроне. Подобный спектр показан на рис. 1, где можно различить пик водорода на длине волны 656 нм, а также линии аргона в диапазоне ~700–1000 нм. Аргоновый спектр, измеренный в таких условиях, имеет примечательную особенность: видимая линия на длине волны 751 нм (на самом деле две линии 750.4 и 751.5 нм, слившиеся вследствие конечного разрешения спектрометра) весьма ярка и даже заметно превышает пик на длине волны 811 нм. Обычно, при измерениях аргонового спектра в дуговом плазмотроне в отсутствие примесных газов, пик 751 нм заметно ниже пика 811 нм — самой яркой линии аргона в подобных условиях. Описанное искажение спектра аргона в случае неучета приводящих к нему механизмов приводит к затруднению диагностики параметров плазмы. По-видимому, за аномальную интенсивность излучения аргона на 751 нм отвечает переселенный уровень $3s^2 3p^5 (2P^0_{1/2}) 4p$ с энергией 13.480 эВ, с которого осуществляется переход на уровень $3s^2 3p^5 (2P^0_{1/2}) 4s$ с испусканием фотона с длиной волны 750.4 нм. Энергия верхнего уровня атома аргона в этом случае весьма близка энергии, выделяющейся при рекомбинации водорода 13.598 эВ. Таким образом, вероятным представляется механизм, согласно которому при трехчастичной рекомбинации водорода в роли третьей частицы выступает атом аргона, получающий в результате избыточную энергию во внутренние степени свободы (около 0.12 эВ уходит в поступательные степени свободы). В настоящей работе рассматривается кинетика аргоно-водородной плазмы, а также возможности использования диагностики наличия водорода по аргоновому спектру, что может представлять практический интерес в случаях, когда концентрации водорода в разряде сравнительно малы, так что непосредственное наблюдение линий водорода является затруднительным.

А. А. Ильяхин, студент; рук. В. В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАДЕНИЯ КАПЛИ НА ПОВЕРХНОСТЬ, ПОКРЫТУЮ СЛОЕМ ЖИДКОСТИ

Одной из важнейших задач в современной технике является охлаждение рабочих поверхностей и конструкций. В данное время происходит развитие относительно новых способов охлаждения, таких как капельное охлаждение и орошение.

Исследование заключалось в получении экспериментальных данных по падению капель жидкости на поверхность, покрытую слоем жидкости различной толщины. Толщина слоя варьировалась в пределах от 0 до 10 мм. Это позволило получить переход между различными режимами распада капли от удара о твердую сухую поверхность до падения капли в жидкость бесконечной глубины. Выполнен анализ и проведено структурирование данных, полученных в ходе экспериментов. Определена зависимость размеров капель от размеров капилляра, динамических параметров капли, таких как числа Вебера (We), Рейнольдса (Re), число Онезорге (Oh), а также типов соударений в зависимости от различных условий. Для удара капли о сухую поверхность проведено сравнение с результатами других авторов [1–3] (рис. 1).

В дальнейшем планируется детально исследовать переход от сухой поверхности к поверхности покрытой слоем жидкости бесконечной глубины.

Литература

1. Лабунцов Д. А., Ягов В. В. Механика двухфазных систем. М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
2. Архипов В. А., Трофимов В. Ф. Образование вторичных капель при ударном взаимодействии капли с поверхностью жидкости // Прикладная механика и техническая физика. 2005. т. 46. № 1.
3. Chenglong Tang, Mengxiao Qin. Dynamics of droplet impact on solid surface with different roughness // Int. J. of Multiphase Flo. November 2017. P. 56–69.

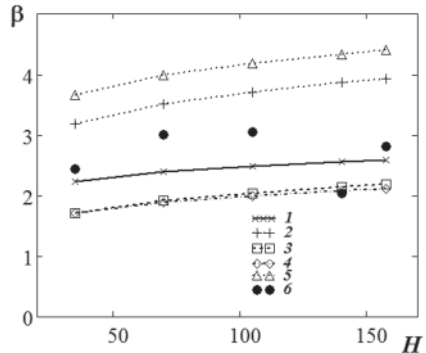


Рис. 1. Зависимость максимального радиуса капли при ударе от высоты падения: 1–5 — аппроксимация данных различных авторов [3], 6 — эксперимент

*Н. С. Иванов, студент; рук. Ю. А. Кузма-Кичта, д.т.н., проф.,
рук. А. В. Лавриков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЛОЯ ИЗ НАНОЧАСТИЦ В ИСПАРИТЕЛЕ НА ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОРА

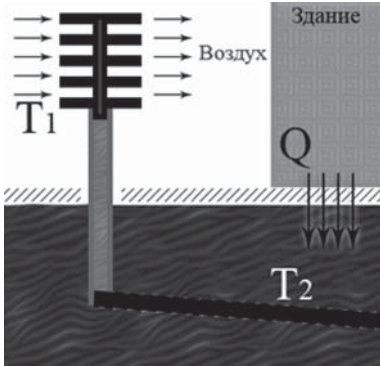


Рис. 1. Модель термостабилизатора

В районах вечной мерзлоты идет строительство большого количества протяженных объектов. Для поддержания постоянной температуры в грунте под протяженными объектами можно использовать слабонаклонные термостабилизаторы (рис. 1). Для улучшения транспорта жидкости по периметру горизонтальной трубы в направлении от нижней образующей к верхней на ее внутренней поверхности наносятся наночастицы оксида алюминия, что позволяет увеличить высоту капиллярного подъема [1]. Целью настоящей работы является нанесение покрытия из наночастиц на поверхность испарителя термостабилизатора и исследование его термического сопротивления.

Для нанесения покрытия используется наночастицы, полученные термическим разложением высушенных гранул сульфата алюминия на поверхности целлюлозы по способу, описанному в [2]. На модели термостабилизатора проводятся эксперименты. В качестве теплоносителя использован озонобезопасный фреон. В опытах определяются распределения температуры стенки в испарителе и конденсаторе в различных сечениях. С помощью дифференциальной термомпары измеряется разность средних температур испарителя и конденсатора, а с помощью датчиков теплового потока — локальные тепловые потоки. С использованием данных измерений найдено термическое сопротивление термостабилизатора и исследовано влияние на него слоя из наночастиц. Установлена зависимость термического сопротивления термостабилизатора от характеристик покрытия испарителя.

Литература

1. Кузма-Кичта Ю. А., Лавриков А. В. и др. Исследование транспортных свойств испарителя модели термостабилизатора с различной структурой поверхности // Тепловые процессы в технике. 2016. С. 395–400.
2. Иванов Н. С., Лавриков А. В., Кузма-Кичта Ю. А. Исследование методов получения наночастиц // XXIII Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика»: Тез. докл. 2017. М.: Т. 3. С. 44.

П. К. Канин, В. А. Рязанцев, С. А. Степанов, студ.;
рук. А. Р. Забиров, к. .н., с.н.с. (НИУ «МЭИ», Москва)

ВЛИЯНИЕ НЕДОГРЕВА СМЕСИ ВОДА–ЭТАНОЛ НА НЕСТАЦИОНАРНЫЙ ПРОЦЕСС ОХЛАЖДЕНИЯ

Интенсификация процесса кипения при высоких температурах поверхностей является важной прикладной задачей. Известно, что пузырьковое кипение относится к одному из самых эффективных процессов, позволяющих отводить огромные тепловые потоки при невысоких температурных напорах [1]. Однако при высоких температурах стенки как правило наблюдается пленочное кипение, которое характеризуется низкими значениями КТО.

Данная работа посвящена исследованию влияния недогрева до температуры насыщения на интенсивность теплоотдачи при нестационарном пленочном кипении водного раствора этанола разного состава. Эксперименты проводились на модифицированной установке «Режимы охлаждения высокотемпературных тел в жидкостях». В качестве рабочего участка использовался 39 мм шар из нержавеющей стали, оснащенный четырьмя термодатчиками, продетыми сквозь отверстия в шаре.

Результаты экспериментов продемонстрировали сильное влияние недогрева на характер охлаждения. С увеличением величины недогрева растет как интенсивность теплоотдачи при устойчивом пленочном кипении, так и температура перехода к интенсивному режиму охлаждения. Полученные экспериментальные данные согласуются с моделью перехода к интенсивному режиму охлаждения, представленной авторами в работе [2].

Работа выполнена в НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант № 17-79-20402).

Литература

1. **Ягов В. В.** Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях. М.: Издательский дом МЭИ, 2014. 542 с.
2. **Zabirov A. R., Yagov V. V., Kanin P. K.** Intensive cooling metallic bodies with low thermal conductivity in film boiling of ethanol // J. of Physics: Conference Series.

*Н. О. Зубов, аспирант, Д. В. Карпенко, студент;
рук. О. Н. Кабаньков, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ЭНТАЛЬПИИ ПОТОКА НА НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ТЕЧЕНИЯ КИПАЩЕГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В КОНТУРЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

Известно, что в парогенерирующих трубах при определенных условиях могут возникать периодические колебания расхода, давления, температуры поверхности обогреваемого канала, приводящие к неустойчивости циркуляции в системе. Двухфазные системы с естественной циркуляцией в связи низким движущим напором и сильной нелинейностью процессов, являются более неустойчивыми по сравнению с системами с принудительной циркуляцией теплоносителя. Для низких давлений диапазон скоростей, при которых устанавливаются колебательные режимы существенно шире, чем для контуров, работающих при высоких давлениях. Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию факторов, приводящих к колебательным режимам кипящего теплоносителя в вертикальной трубе в условиях естественной циркуляции. Количественных критериев, на основе которых можно было бы предсказывать границы устойчивой работы КЕЦ, в настоящее время не существует.

Эксперименты выполнены на двух разных жидкостях — воде и перфторгексане (C_6F_{14}). Теплофизические свойства этих жидкостей существенно различаются, это позволило при неизменных технических параметрах установки расширить диапазон исследований по приведенным давлениям практически на порядок (вода — $p/p_{кр} = 0,00475$, перфторгексан — $p/p_{кр} = 0,054$), в результате получена дополнительная информация для понимания влияния структуры двухфазного потока на механизм неустойчивой циркуляции и условий ее возникновения.

В работе представлены опытные данные о влиянии плотности теплового потока и относительной энтальпии теплоносителя, поступающего в обогреваемый участок, на теплогидравлические характеристики и на неустойчивость циркуляции в контуре. Определены границы устойчивой циркуляции при атмосферном давлении. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 15-08-05106

*А. И. Хафизова студ.;
рук. О. С. Дмитриева к. т. н., доц. (КГЭУ, Казань)*

ОЦЕНКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СТРУЙНО-ПЛЕНОЧНЫХ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ

Энергосбережение является одним из приоритетных направлений в развитии многих отраслей промышленности. Особенно остро встал этот вопрос в теплоэнергетической промышленности. Одним из способов энергосбережения является модернизация существующих теплообменных аппаратов за счет внедрения новых конструкций, обладающих высокой производительностью, взамен устаревших [1].

В последние годы появилось довольно много конструкций контактных устройств, которые отличаются достаточно высокой теплообменной эффективностью. Однако большинство из них имеет относительно сложную конструкцию для изготовления либо обладают высоким гидравлическим сопротивлением. Конструкция, предложенная авторами в работе [2] частично решает отмеченные проблемы.

Целью проводимых исследований является определение гидравлического сопротивления предлагаемых контактных устройств без моделирования в специальных программах.

Для расчета коэффициента гидравлического сопротивления конструкция была представлена в виде: совокупность сужений и расширений, совокупность поворотов на 180°, совокупность диафрагм.

Формулы для расчета коэффициента сопротивления были взяты из справочника [3]. По ним были построены графические зависимости, для различных значений высоты ступеней контакта, при неизменном значении стороны основания сливных стаканов.

Вывод: сравнение результатов расчета с зависимостями, полученными на основе моделирования течения потока газа в программном комплексе ANSYS FLUENT, показало, что для расчета гидравлического сопротивления конструкции следует рассматривать как совокупность диафрагм. Отклонение в этом случае не превышает 11%.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-60081 мол_а_дк.

Литература

1. **Рыбкин В. Н.** Проблемы в энергосбережении // Градостроительство, 3, 81–86 (2012).
2. **Дмитриева О. С., Соловьев С. А., Дмитриев А. В.** Диспергирование жидкости в струйно-плёночных контактных устройствах, журнал: Вестник технол. ун-та, 19, 4, 60–62 (2016)
3. **Идельчик И. Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М. О. Штейнберга. — М.: Машиностроение, 1992. — 672 с.

*Р. Р. Хусаинов, студенты;
рук. к. ф. -м. н., доцент О. В. Соловьева (КГЭУ, Казань)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ВЫСОКОПОРИСТОЙ ЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРЫ

Использование высокопористых ячеистых материалов с развитой площадью поверхности представляет собой важный прорыв во многих промышленных применениях [1, 2]. Среди различных пористых сред металлические высокопористые ячеистые материалы имеют ряд преимуществ: низкая плотность, умеренная жесткость, высокая прочность. Перспективным направлением представляется создание высокопористых материалов с заданными свойствами. В этой связи актуальным представляется исследование характеристик пористой среды на основе компьютерного моделирования.

Была создана модель высокопористой ячеистой среды, представляющая собой набор пересекающихся сфер. Проведен анализ корректности использования такой модели при описании реальной пористой структуры. Результаты численных расчетов хорошо согласуются с полуэмпирическими результатами других авторов. Смоделированы три вида высокопористой среды — без сглаживания граней, с ручным сглаживанием и с автоматическим сглаживанием. Для всех трех моделей проведены расчеты перепада давления для разных параметров пористой среды.

Все три параметра (диаметр ячейки, пористость, диаметр связывающих волокон) вносят вклад в гидродинамический расчет пористой структуры. Вариант с автоматическим сглаживанием демонстрирует наибольшее сопротивление. При фиксированном диаметре ячейки и пористости он имеет наибольшее значение диаметра связывающих волокон, который вносит вклад в изменение давления. При фиксированном диаметре волокон автоматическое сглаживание также показывает наибольшее сопротивление за счет наименьшей пористости. Таким образом, форма и размеры волокон в модели высокопористой структуры оказывает большее влияние на сопротивление структуры, чем диаметр самих ячеек и пористость.

Литература

1. **G. I. Garrido, F. C. Patcas, S. Lang, B. Kraushaar-Czarnetzki** Mass transfer and pressure drop in ceramic foams: A description for different pore sizes and porosities *Chemical Engineering Science*, vol. 63, pp. 5202–5217, 2008.
2. **Della Torre, A., Montenegro, G., Tabor, G. R., & Wears, M. L.** (2014). CFD characterization of flow regimes inside open cell foam substrates. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 50, 72–82.

*В. О. Киндра, асп.; С. К. Осипов, асп.; А. Н. Роголев, к.т.н., доц.;
рук. И. В. Шевченко, д.т.н. проф. (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОД ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛОТДАЧИ В КАНАЛАХ ОХЛАЖДЕНИЯ СО ШТЫРЬКОВЫМИ ТУРБУЛИЗАТОРАМИ

Применение турбулизаторов потока является одним из основных способов интенсификации конвективного теплообмена, позволяющим повысить энергетическую эффективность теплообменных устройств. Широкое распространение получили ребра, штырьки и лунки, устанавливаемые в каналах и на поверхностях, омываемых воздухом [1].

Разработанный авторами штырьково-луночный интенсификатор теплоотдачи представляет собой углубление, выполненное на поверхности канала в форме сферического пояса соосно оси цилиндрического штырька (рис. 1) [2].

Проведенные численные исследования позволили выявить преимущества описанной выше геометрической конфигурации. По сравнению с одиночным штырьковым турбулизатором потока (диаметр штырька $d_{ш} = 2$ мм), установленным в щелевом прямоугольном канале ($120 \times 10 \times 4$ мм), штырьково-луночный интенсификатор теплоотдачи ($d_{ш} = 2$ мм, диаметр лунки $d_{л} = 2d_{ш}$, глубина лунки $h_{л} = 0.29d_{ш}$) позволяет получить дополнительный прирост числа Нуссельта в диапазоне чисел Рейнольдса от 8000 до 70000, равный 8–10%.

Повышенная интенсификация теплоотдачи вызвана образованием в лобовой части углубления устойчивых вихревых течений и их распространением вдоль всего сферического пояса. В результате вся поверхность вокруг штырька, прилегающая к стенке, включая «теневую» область, приобретает высокий теплосъем.

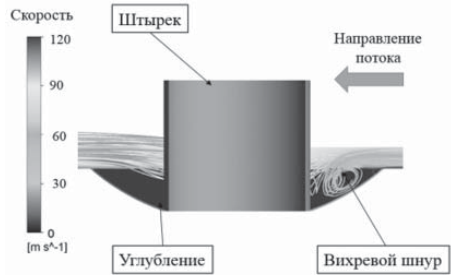


Рис. 1. Линии тока в пристеночной зоне интенсификатора

Литература

1. **Нан J. С., Dutta S., Ekkad S.** Gas turbine heat transfer and cooling technology. — CRC Press, 2012.
2. **Киндра В. О., Осипов С. К., Егоров А. А., Шевченко И. В., Роголев А. Н.** Исследование и разработка штырьково-луночного интенсификатора теплоотдачи для высокоэффективных теплообменных устройств // Новое в российской электроэнергетике / 2017 № 9 с. 76–89.

*В. О. Киндра, асп.; С. К. Осипов, асп.; И. В. Гаранин, к.т.н.;
рук. И. В. Шевченко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОДИНОЧНЫХ ТУРБУЛИЗАТОРОВ ПОТОКА

Результаты детального численного моделирования теплогидравлических процессов, протекающих в каналах прямоугольного поперечного сечения с установленными одиночными турбулизаторами потока (штырек, симметричные лунки на противоположных стенках канала, штырьково-луночный интенсификатор теплоотдачи) позволили провести сравнительный анализ их тепловой эффективности в широком диапазоне чисел Рейнольдса [1].

На рис. 1 представлены распределения числа Нуссельта по длине L щелевого канала (10×4 мм), полученные для числа Рейнольдса, равного 14000. Интенсификатор установлен на расстоянии $15D$ (D — диаметр штырька) от входного сечения канала. Канал с одиночным штырьково-луночным интенсификатором теплоотдачи отличается наличием двух явно выраженных максимумов числа Nu .

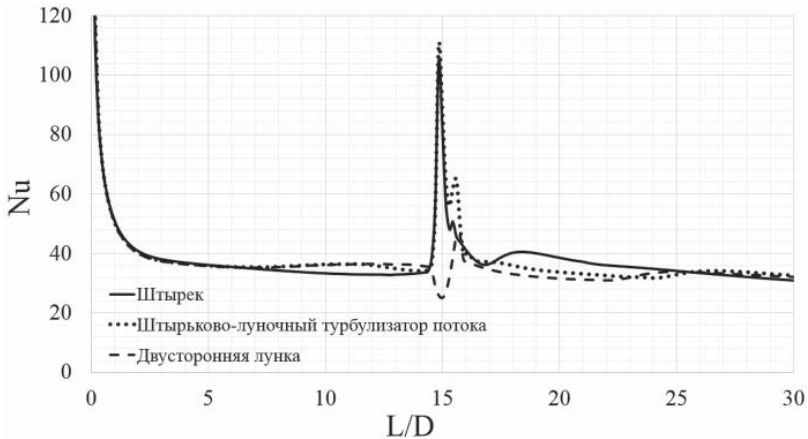


Рис. 1. Линейные распределения числа Нуссельта по длине канала

Литература

1. Киндра В. О., Осипов С. К., Егоров А. А., Рогалев А. Н., Шевченко И. В. Исследование и разработка штырьково-луночного интенсификатора теплоотдачи для высокоэффективных теплообменных устройств // Новое в российской электроэнергетике. — 2017. — № 9. — С. 76–89.

*В. О. Киндра, асп.; А. А. Егоров, студ.;
рук. И. В. Шевченко, д.т.н. проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ШТЫРЬКОВЫХ ТУРБУЛИЗАТОРОВ ПОТОКА, РАЗМЕЩЕННЫХ В КОНФУЗОРНО-ДИФФУЗОРНЫХ КАНАЛАХ

Для охлаждения выходной кромки лопаток газовых турбин во внутренних каналах зачастую размещают шахматный пучок штырьковых турбулизаторов потока. С целью получения дополнительной интенсификации теплообмена возможно применение штырьково-луночных интенсификаторов теплоотдачи [1]. Однако их установка в области выходной кромки затруднительна при изготовлении лопаток методом литья по выплавляемым моделям. Учитывая существующие конструктивно-технологические сложности, авторами предлагается альтернативная геометрическая конфигурация интенсификаторов, в которой ряды штырьков размещаются в поперечном направлении течения хладагента траншеях (рис. 1).

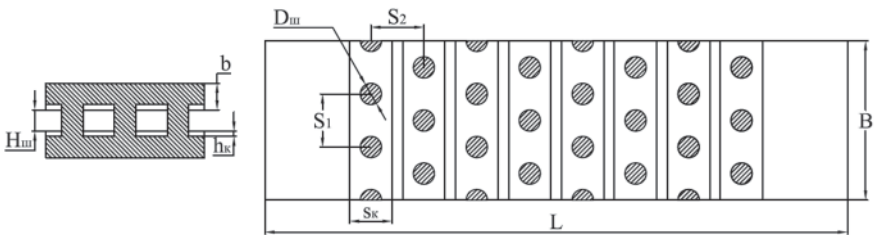


Рис. 1. Охлаждаемый канал с шахматным пучком штырьков, ряды которых размещаются в поперечных потоку траншеях

С использованием программного пакета Ansys были проведены численные исследования, подтвердившие эффективность описанной выше геометрической конфигурации. Дополнительный прирост числа Нуссельта в диапазоне чисел Рейнольдса от 20 000 до 85 000 достигает 10% относительно шахматного пучка штырьков.

Результаты работы получены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках выполнения соглашения № 14.577.21.0210 от 28.09.16 г. (уникальный идентификационный номер RFMEFI57716X0210).

Литература

1. Киндра В. О., Осипов С. К., Егоров А. А., Шевченко И. В., Роголев А. Н. Исследование и разработка штырьково-луночного интенсификатора теплоотдачи для высокоэффективных теплообменных устройств // Новое в российской электроэнергетике. 2017. № 9. С. 76–89.

А. С. Лебедев, студент; рук. Е. В. Свиридов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МНОГОКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ПОЛЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ПУЛЬСАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Наша научная группа на протяжении многих лет занимается исследованием теплообмена при течении жидкостей в каналах различной геометрии при воздействии магнитного поля, однородных и неоднородных тепловых потоков. Важными характеристиками течений являются поля интенсивностей пульсаций температуры, регистрируемые микротермопарными зондами. Характерный частотный диапазон пульсаций температуры в потоке составляет порядка 0–20 Гц. Для регистрации сигналов термопар необходимо использовать синхронные многоканальные модули с полосой пропускания порядка 40–100 Гц и более [1].

Целью работы является разработка АСНИ получения осциллограмм интенсивности пульсаций температуры при исследовании гидродинамики и теплообмена. Полученные осциллограммы температурных пульсаций используются при реализации корреляционного метода определения локальной скорости потока, для программной компенсации сигналов кондукционных анемометров.

За основу взят 24-битный аналого-цифровой преобразователь ADS 1256 (рис. 1), имеющий 8 аналоговых входов, PGA-усилитель и программируемый фильтр. Управление АЦП осуществляется платой Arduino.

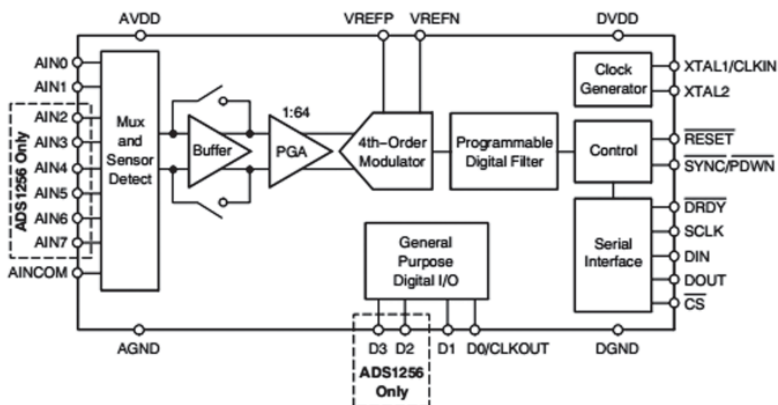


Рис. 1. Упрощенная схема ADS 1256

Автором разработано программное обеспечение микроконтроллера, а также ПО для получения и обработки экспериментальных данных, алгоритмы корреляционного и спектрального анализа температурных пульсаций.

Литература

1. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. М.: Мир, 1989.

*Р. Е. Максеев, студент;
рук. Д. Н. Герасимов, к. ф.-м. н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ

На рис. 1 представлены показания термопары — ход температуры, измеряемой мокрой термопарой, вынимаемой из воды с температурой 20.5°C в воздухе с температурой 24.8°C.

Участок 1 на графике соответствует термопаре, помещенной в жидкость. Далее термопара вынимается из жидкости и размещается непосредственно над жидкостью на высоте ~1 см, где ее температура

вначале понижается (участок 2), а затем остается постоянной, когда поток испарения с термопары уравнивается потоком конденсации (участок 3). Затем термопара помещается вдали от сосуда жидкостью, где поток конденсации отсутствует, и температура термопары снижается (участок 4). Лишь по прошествии заметного времени показания термопары начинают стремиться к температуре окружающего воздуха (участок 5).

Температура термопары определяется балансом потоков на поверхности жидкости, находящейся на ее спае. Ожидается, что для стационарного случая выполняется равенство

$$J_e + J_{g_out} = J_c + J_{g_in},$$

где J_e — поток тепла за счет испарения жидкости, J_c — поток тепла за счет конденсации пара, J_{g_out} — за счет ухода с поверхности жидкости адсорбированных частиц газа, J_{g_in} — за счет передачи энергии жидкости от молекул газа, адсорбирующихся на поверхности жидкости.

В отсутствие потоков испарения и конденсации термопара принимает просто температуру воздуха, в то время как при наличии поверхностного фазового перехода ситуации совсем иная (см. рис. 1).

Следует иметь в виду, что представленное равенство отражает лишь только ситуацию в среднем. За счет специфики граничных условий на поверхности испаряющейся жидкости потоки тепла изменяются со временем, так что строгое равенство $J_e = J_c$ может и не выполняться, что приводит к изменениям температуры поверхности жидкости даже в квазистационарном случае.

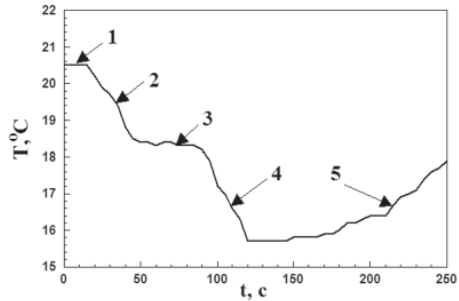


Рис. 1. Показания термопары

А. А. Малиянц, студент;
рук. Д. В. Сиденков, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ТЕПЛОБМЕНА И ГИДРОДИНАМИКИ ПУЧКА КАПЛЕВИДНЫХ ТРУБ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ ANSYS

Трубчатые теплообменные аппараты занимают важное место в промышленной теплоэнергетике и составляют многочисленную группу теплосилового оборудования не только в теплоэнергетике, но и химической, нефтеперерабатывающей промышленности и ряде других отраслей. В течение последних двух десятилетий интенсивно исследуются возможности применения «органического» цикла Ренкина (ОЦР) в энергоустановках на низкокипящих рабочих веществах для обеспечения электро- и теплоснабжения потребителей. В качестве разделительного теплообменника в таких установках применяются трубные пучки.

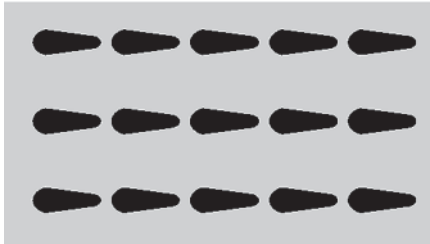


Рис. 1. Пример коридорного пучка с трубами каплевидной формы

В качестве объекта исследования рассматривается трубный пучок коридорной компоновки с трубами каплевидной формы (рис. 1). С помощью программы ANSYS выполнено численное исследование теплообмена и гидродинамического сопротивления такого пучка в различных режимах работы когенерационной установки на основе ОЦР. Проведена верификация полученных результатов по теплоотдаче по данным работы [1].

Выполнены расчеты тепловой схемы и разделительного теплообменника для выбранных рабочих веществ установки когенерации.

Литература

1. Ahmed S. A. E. S., Ibrahim E. Z., Mesalhy O. M., Abdelatif M. A. Heat transfer characteristics of staggered wing-shaped tubes bundle at different angles of attack. Heat Mass Transfer, 2014, v. 50, N. 8, p. 1091–1102.

И. С. Миронов, студ.;
рук. Д. А. Бирюков, к. т. н., инж. (НИУ «МЭИ», Москва)

ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЛНОВОДА МНОГУПУЗЫРЬКОВОЙ СОНОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЕЙ

Как известно [1], существуют две конкурирующие теории возникновения сонолюминесценции: тепловая и электрическая. Тепловая теория основывается на представлении о высоких температурах [2], электрическая — предполагает наличие электрического поля, с такой напряженностью, что происходит пробой через газовую фазу пузыря.

Косвенно о природе сонолюминесценции можно судить, исследуя поверхность, с которой она контактирует. Если предположить, что на исследуемой поверхности ультразвукового волновода не окажется явных следов оплавления металла, вызванных высокотемпературными воздействиями, то можно сделать вывод, что электрическая теория является более перспективной в области исследования сонолюминесценции.

На рис. 1 представлена торцевая поверхность ультразвукового волновода после нескольких часов контакта с сонолюминесценции, видно, что образовались две продольные пересекающиеся канавки — отмечены стрелками. При исследовании морфологии поверхности пересекающихся канавок с помощью растрового электронного микроскопа Nova NanoSem 650, следов высокотемпературного оплавления обнаружено не было.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-60141 мол_а_дк».

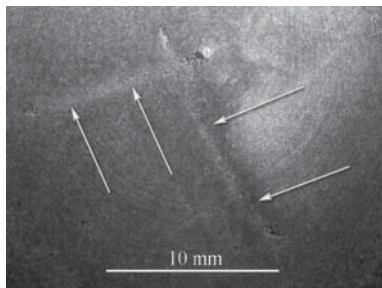


Рис. 1. Торцевая поверхность волновода

Литература

1. **Борисенок В. А.** // Акустический журнал. 2015. Т. 61. № 3. С. 333–360.
2. **Suslick K. S., Eddingsaas N. C., Flannigan D. J. et al.** // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2011. V. 18. P. 842–846.

*Д. А. Мусальников студент;
рук. Д. А. Бирюков, к. т. н., инж. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ВОДЫ

В 1990 г. Маргулис ввел термин гидролюминесценция (ГЛ) [1]. Основной теорией, объясняющей ГЛ, является образование электрических разрядов, вызванных трибоэффектами. Удобным для исследования ГЛ методом является спектральное исследование свечения. В работе [2] были представлены спектры излучения ГЛ дистиллированной воды, но подробное исследование спектра не проводилось.

Исследование проводилось на экспериментальной установке генерации ГЛ, позволяющей проводить исследование данного явления в диапазонах давления до 160 атм. на различных жидкостях. В ходе выполнения работ, в качестве рабочей жидкости, была выбрана дистиллированная вода. Были получены зависимости интенсивности свечения от температуры, давления и проводимости жидкости. В нашей работе был получен спектр излучения ГЛ на дистиллированной воде с растворенным в ней аргоном и без. На полученном спектре обнаружены линии азота, водорода, ОН-группы и аргона. Исследованный спектр свидетельствует о низкой вращательной и высокой колебательной температуре излучения, что в свою очередь подтверждает электрическую теорию наблюдаемого явления.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-60141 мол_а_дк»

Литература

1. **Маргулис М. А.** Сонолюминесценция, возникающая при гидродинамической кавитации. I. Основные характеристики процесса // ЖФХ. 1990. Т. 64. № 12.
2. **Багров В. В., Графов Д. Ю., Десятов А. В. и др.** Экологически безопасный кавитационный способ генерации водорода в потоках воды с возникновением слабо ионизированной плазмы // Безопасность в техносфере. 2013. № 5. С. 21–24.

*П. К. Канин, В. А. Рязанцев, М. М. Виноградов, студ.;
рук. А. Р. Забиоров, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ВОЛН НА МЕЖФАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПЛЕНОЧНОМ КИПЕНИИ НЕДОГРЕТЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Пленочное кипение недогретых жидкостей имеет место в процессах закалки металлов и поставарийном захлаживании активной зоны атомного реактора. Анализ имеющейся опытной информации подтверждает существование особого режима интенсивного теплообмена при пленочном кипении сильно недогретой воды [1]. Несмотря на большое количество экспериментальных данных, сегодня не представлена физическая модель возникновения этого режима кипения.

Результаты экспериментов авторов на неводных жидкостях демонстрируют сильное влияние формы и устойчивости межфазной поверхности жидкость-пар на характер процесса охлаждения. Авторами выдвигается гипотеза, что такой тип пленочного кипения развивается в случае приближения жидкости к греющей поверхности ввиду возникновения волн на межфазной границе жидкость-пар. При этом максимальные стоки тепла наблюдаются в местах гребней волн. Эта гипотеза представляется авторам наиболее естественной и физически обоснованной причиной наступления интенсивного режима теплообмена.

В работе П. Л. Капицы [2] проводится анализ течения тонкого слоя вязкой жидкости под влиянием постоянной объемной силы с учетом поверхностного натяжения. Проведя аналогию и используя результаты этой работы, авторами получен безразмерный комплекс, который можно использовать для определения условий перехода течения жидкости на межфазной границе к волновому течению.

Работа выполнена в НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант № 17-79-20402).

Литература

1. **Yagov V. V., Lexin M. A., Zabirow A. R., Kaban'kov O. N.** Film boiling of subcooled liquids. Part I: Leidenfrost phenomenon and experimental results for subcooled water // *Int. J. Heat Mass Transf.* 100 (2016). P. 908–917.
2. **Капица П. Л.** Волновое течение тонких слоев вязкой жидкости // *ЖЭТФ.* 1948. Т. 18, Вып. 1. С. 1–28.

*Д. Р. Шафиков, студент; рук. к. ф. -м. н., доцент С. А. Соловьев,
к. ф. -м. н., доцент О. В. Соловьева (КГЭУ, Казань)*

ЧИСЛЕННОЕ ИЗУЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА АСПИРАЦИИ В КОНИЧЕСКОМ ПРОБООТБОРНИКЕ

Цилиндрический пробоотборник представляет длинный цилиндр со щелевым отверстием вдоль образующей цилиндра, через которое происходит пробоотбор аэрозоля. Цилиндрические пробоотборники исследовались теоретически [1, 2] и экспериментально [3].

Численное изучение коэффициента аспирации основывается на расчете течения аэрозоля в окрестности входного отверстия и изнутри пробоотборника. Математическое моделирование аэрозольного течения состоит из 2-х задач: расчет траекторий частиц для найденного поля скоростей и определение пространственного распределения скоростей несущей среды. Для описания перемещения частиц в гетерогенном газовом поле используются уравнения перемещения единичных частиц, математически выражающие собой 2-й закон Ньютона.

В работе проведено построение математической модели работы пассивного пробоотборника. Поставленная задача решалась методом конечных объемов. Были проведены расчеты при разных углах отклонения пробоотборника относительно движущегося потока и при разных числах Стокса. Исследована зависимость коэффициента аспирации от ориентации пробоотборника относительно движущегося потока и от числа Стокса. Построены графики зависимости коэффициента аспирации от чисел Стокса.

Литература

1. **Belyaev S. P.** Techniques for collecting of representative aerosol samples / S. P. Belyaev, L. M. Levin // J. Aerosol Science. — 1974. — V. 5. — P. 325–338.
2. **Chung I. P.** Numerical simulations of two-dimensional blunt body sampling in viscous flow / I. P. Chung, D. Dunn-Rankin // J. Aerosol Science. — 1992. — V. 23. — P. 217–232.
3. **Chung I. P.** Experimental investigation of a two-dimensional cylindrical sampler / I. P. Chung, T. Trinh, D. Dunn-Rankin // J. of Aerosol Science. — 1994. — V. 25, № 5. — P. 935–955.

М. Ю. Шалина, студент;
рук. Н. Д. Якимов, д-р физ.-мат. наук, проф. (КГЭУ, Казань)

МЕТОД РЕГУЛЯРНОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПЕРВОГО РОДА БЕЗ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ

Рассматривается вариант метода регулярного теплового режима, который позволяет использовать ограниченный теплоизолированный объем среды, вследствие чего ее температура в ходе процесса будет меняться из-за обмена теплотой с образцом.

Использование ограниченного объема жидкости без термостатирования упрощает моделирование, позволяет использовать более компактную установку, а в определенных условиях повысить точность.

Тестирование решения проводилось путем численного моделирования процесса. Был разработан алгоритм построения аналитических решений — классического решения задачи об охлаждении шара в виде ряда и решения для регулярного режима охлаждения в среде с меняющейся температурой.

Для изучения процесса была создана численная модель на основе метода конечных разностей по явной схеме [1]. Была проведена проверка работоспособности численной модели путем сопоставления результатов расчетов с аналитическим решением, для классического случая, с постоянной температурой среды [2], где результаты совпали с точностью выше 0,01% (рис. 1).

Проведенное тестирование на численной модели показало, что такой регулярный режим действительно осуществляется и имеет характеристики, пригодные для эффективного проведения экспериментов.

Литература

1. Ковеня В. М., Чирков Д. В. Методы конечных разностей и конечных объемов для решения задач математической физики. Учебное пособие, 2013.
2. Кондратьев Г. М. Регулярный тепловой режим. М.: ГИТТЛ, 1954.

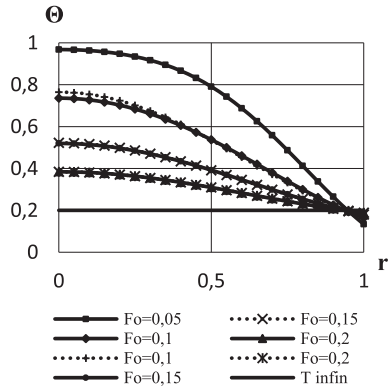


Рис. 1. Численный эксперимент охлаждения шара

*Н. А. Тялина, студент;
рук. Я. И. Листратов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРЯМОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДЪЕМНОГО ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В ОБОГРЕВАЕМОМ ПРЯМОУГОЛЬНОМ КАНАЛЕ В КОМПЛАНАРНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В ряде проектов международного термоядерного реактора ИТЭР в качестве основного теплоносителя рассматривается жидкий металл. Однако теплообменные процессы, происходящие при движении расплавленного металла в токамаке, существенно осложнены магнитогидродинамическими и свободноконвективными эффектами, проявление которых обусловлено наличием сильных магнитных полей и высоких тепловых нагрузок.

Особенности жидкометаллического теплообмена в течение многих лет изучаются объединенной научной группой МЭИ-ОИВТ РАН. В частности, на лабораторном стенде была проведена серия экспериментов, направленная на детальное исследование теплообмена при вынужденной конвекции ртути в вертикальном обогреваемом канале в компланарном магнитном поле [3].

Настоящая работа посвящена прямому численному моделированию (DNS) МГД-теплообмена при подъемном течении жидкого металла в канале прямоугольного поперечного сечения в условиях обогрева [1]. Численный эксперимент был осуществлен при различных соотношениях режимных параметров Re , Gr_q , Ha .

По итогу проведения данной работы с помощью метода прямого численного моделирования был выявлен ряд характерных особенностей, проявляющихся при течении жидкости под влиянием термогравитационной конвекции и приложенного магнитного поля [2]. Результаты CFD-расчета были сопоставлены с уже имеющимися экспериментальными данными [3]. Помимо того, DNS позволил получить поля турбулентных характеристик, рассмотрение которых затруднительно или вовсе невозможно в условиях натурного эксперимента.

Литература

1. **Zikanov O., Listratov Y. I., Sviridov V. G.** Natural convection in horizontal pipe flow with a strong transverse magnetic field. *J. Fluid Mech.* (2013), pp. 486–516.
2. **Генин Л. Г., Свиридов В. Г.** Гидродинамика и теплообмен МГД-течений в каналах. М.: Издательство МЭИ, 2001.
3. **Пятницкая Н. Ю., Разуванов Н. Г., Свиридов Е. В.** Экспериментальное исследование течения жидкого металла в вертикальном прямоугольном канале в компланарном магнитном поле. XXXIII Сибирский теплофизический семинар, 6–8 июня 2017, г. Новосибирск, ISBN 978-5-89017-049-1. Тезисы докладов, с. 163.

П. А. Юрченко, студ.; рук. Д. В. Сиденков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ ГРУНТОВОГО ТЕПЛООБМЕННИКА ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

При совместной работе теплового насоса с грунтовым теплообменником появляется возможность использовать низкопотенциальную теплоту грунта для обеспечения нагрузок отопления, водоснабжения и вентиляции жилых или производственных помещений [1].

В этой связи актуальна задача определения динамики теплового состояния массива грунта в различных режимах работы теплонасосной установки.

С использованием программной системы ANSYS [2] были рассчитаны: время, необходимое для выхода грунтового теплообменника для коттеджа площадью 100 м^2 , расположенного в умеренной климатической зоне, на условно-установившийся режим работы, максимально возможные тепловые мощности теплообменника в каждый месяц года в переходном периоде работы и в условно-установившемся режиме. Также было установлено, в какие периоды года установка отдает или получает тепло.

Результат расчета тепловых полей в конце декабря первого года с момента запуска установки изображен на рис. 1.



Рис. 1. Распределение температур в грунте

Литература

1. Pirjo Majuri, Ground source heat pumps and environmental policy — The Finnish practitioner's point of view. Turku: Journal of Cleaner Production, 2016.
2. ANSYS® Academic Research, Release 11, Help System, Coupled Field Analysis Guide, ANSYS Inc.

*В. В. Завирова, студент; рук. Д. Н. Герасимов, к. ф. - м. н., доц.
(НИУ «МЭИ», Москва)*

ВОЗМОЖНОСТЬ ГЕНЕРАЦИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ В УЗКОМ КАНАЛЕ

Протекание жидкости сквозь узкий канал может сопровождаться свечением — так называемой гидролюминесценцией. Природа этого свечения в настоящий момент установлена достаточно хорошо [1], однако остается ряд вопросов относительно отдельных эффектов, сопровождающих данное явление. Причиной гидролюминесценции являются электрические разряды, возникающие в пузырьках жидкости вследствие ее трения о стенки (так называемый электрокинетический эффект). В интенсивных электрических разрядах может возникать мягкое рентгеновское излучение, что, в принципе, не исключено и для явления гидролюминесценции. На это указывалось, например, в работе [2], где также была проделана безуспешная попытка регистрации гамма-излучения. Действительно, в работе [3] и последующих публикациях этой научной группы сообщается о регистрации интенсивного рентгеновского излучения, сопровождающего гидродинамическую люминесценцию. В частности, в этих работах приведен измеренный спектр рентгеновского излучения, имеющий максимум на энергии ~ 3.5 кэВ. Обсуждаемые результаты тем более интересны, что линейный коэффициент ослабления воды на энергии 3 кэВ примерно равен 200 см^{-1} , то есть после выхода из среды толщиной 1 см излучение ослабевает в $\sim 10^{87}$ раз.

В данной работе рассматриваются не только приведенные выше данные экспериментов, включая особенности регистрации ионизирующего излучения детекторами различных типов, но также и конкретные механизмы генерации рентгеновского излучения в сильных электрических разрядах, а также соответствующие спектры до и после прохождения слоя ослабляющего вещества.

Литература

1. **Biryukov D. A., Gerasimov D. N.** Triboluminescence of Liquid Dielectrics: On a Way to Discover the Nature of Sonoluminescence // in «Triboluminescence: Theory, Synthesis and Application», Ed.: D. O. Olawale, O. O. I. Okoli, R. S. Fontenot, W. A. Hollerman. Springer. 2016. 454 p.
2. **Бирюков Д. А., Власова М. И., Герасимов Д. Н., Синкевич О. А.** Гидродинамическая люминесценция и гамма-излучение // Вестник МЭИ. 2013. № 1. С. 69–72.
3. **Корнилова А. А. и др.** Генерация интенсивного направленного излучения при быстром движении струи жидкости сквозь узкие диэлектрические каналы // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2007. № 3. С. 55–60.

Г. О. Зинченко, В. С. Юцкевич, студенты;
рук. О. А. Синкевич, д.ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВИХРИ ГРОМЕКИ-БЕЛЬТРАМИ В СЖИМАЕМЫХ СРЕДАХ

Не рассматривая начальную стадию возникновения вихрей, исследуется распределение газодинамических параметров (скорость течения v , давление, температура, плотность) и спиральности $S = (\nabla \times \mathbf{v}) \cdot \mathbf{v} / 2$ в установившихся вихрях различного типа, включая вихри Громеки-Бельтрами [1, 2] при изотермических и адиабатических режимах течения. Вихри с большой спиральностью могут наблюдаться в торнадо [3]. Демонстрируется отличие таких вихревых явлений от режимов течения в несжимаемой жидкости, поэтому их анализ может представлять интерес для более детального изучения механизмов возникновения и поддержания торнадо (смерчей) [4]. Анализируется роль вязкости и силы Кориолиса, когда решение для вихря может быть представлено в виде $v(r, t) = v_0 \exp(kr + \omega t)$. Отдельно в динамике вихря исследуется влияние мелких твердых частиц и границы.

Целью работы является разработка моделей сред, состоящих из ансамблей вихрей различной ориентации, установление условий возникновения стационарных режимов, в которых вихри постоянно генерируются и исчезают. Спецификой среды является высокий уровень турбулентности.

Литература

1. **Кочин И. Е., Кибель И. А., Розе Н. В.** Теоретическая гидромеханика. Ч. 1, 2. — М.: Изд. физ.-мат. литературы. 1963.
2. **Чефранов С. Г.** Генерация спиральности в однородно-вихревых потоках // ЖЭТФ. 2003. Т. 126. № 5 (11). с. 1133–1145.
3. **Синкевич О. А.** Модель течения в воронке торнадо с учетом фазовых превращений // ТВТ. 1996. Т. 34. № 6. С. 936–941.
4. **Кушин В. В.** Гравитационно-тепловые процессы в смерчах. М.: ЦНИАТОМИНФОРМ, 1987.

В. Э. Зинуров, Ю. О. Семеновна, студенты;
рук. А. В. Дмитриев, д.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ С ГОРЕЛКОЙ POLIDORO PREMIX

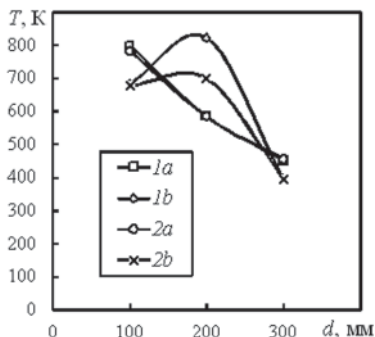


Рис. 1. Зависимость температуры T от диаметра камеры сгорания d : $1a, 1b$ — значения на поверхности камеры сгорания, выполненного из чугуна и листовой стали соответственно; $2a, 2b$ — значения на выходе из камеры сгорания, выполненной из чугуна и листовой стали соответственно

Совершенствование процессов сгорания углеводородного топлива в топках для повышения их эффективности является актуальным и представляет большой. Основным направлением деятельности в области повышения эффективности процесса сгорания углеводородного топлива в топке является оптимизация геометрии камеры сгорания.

Целью данной работы является исследование влияния геометрических размеров топки котла при процессе сгорания углеводородного топлива. В качестве углеводородного топлива исследовался природный газ. Объемный состав газа задавался по справочным данным: CH_4 — 95,5%, C_2H_6 — 0,8%, C_3H_8 — 0,4%, C_4H_{10} — 0,08%, CO_2 — 0,22%, N_2 — 3,0% [1].

Для расчета сгорания углеводородного топлива применен метод конечных элементов в программном комплексе ANSYS Fluent.

Для численного расчета в программном комплексе ANSYS Fluent была построена 3D модель камеры сгорания длиной 600 мм. В камере сгорания использовалась газогорелочное устройство фирмы Polidoro Premix диаметром 60 мм и длиной 600 мм. В ходе исследований варьировался диаметр камеры сгорания.

Результаты показали, что увеличение диаметра внешнего контура камеры сгорания котла отрицательно сказывается на эффективности его работы, снижая его КПД. Камера сгорания, выполненная из чугуна более эффективна для использования.

Литература

1. Михайловский В. П., Мартемьянова Э. Н., Ушаков В. В. Расчеты горения топлива, температурных полей и тепловых установок технологии бетонных и железобетонных изделий. Омск: СибАДИ, 2011.

*А. А. Галиев, Р. Р. Хусаинов, студенты; рук. к. ф.-м. н., доц.
С. А. Соловьев, к. ф.-м. н., доц. О. В. Соловьева (КГЭУ, Казань)*

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В АППАРАТЕ ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ

Аппараты псевдоожигенного слоя широко используются в нефтехимической промышленности и энергетике [1–4]. Преимуществом таких аппаратов является высокая скорость тепло- и массообмена между компонентами. Наиболее полное представление о характере движения псевдоожигенного слоя могут дать экспериментальные исследования, которые усложняются большим количеством веществ и сложной внутренней структурой аппарата. Одним из способов получить данные о процессе является численное моделирование.

Работа основана на исследовании промышленного химического реактора псевдоожигенного слоя предназначенного для дегидрирования изобутана. В активной зоне ректора находится микросферический алюмохромовый катализатор с диаметром частиц 20–200 мкм. В центре аппарата расположена вертикальная труба подачи из регенератора свежего нагретого катализатора, в рабочей зоне реактора расположены решетки уголкового провального типа для разбивания образующихся пузырей газа. При численном моделировании использовалась непрерывная Эйлерова–Эйлера многофазная модель, дополненная кинетической теорией газов для учета столкновений твердых частиц.

Проведено численное исследование аппарата псевдоожигенного слоя предназначенного для процесса химической реакции, протекающей с поглощением тепла. Проведен анализ эффективности прогрева аппарата. Рассмотрены два варианта устройства подачи нагретых гранул дискретной фазы в аппарат. Исследовано влияние вида устройства подачи частиц на эффективность прогрева аппарата. Совместно проведен анализ влияния фракционного состава частиц и внутренних структурных элементов на эффективность протекания химической реакции в аппарате.

Литература

1. **Гельперин Н. И.** Основы техники псевдоожигения. — М.: Химия, 1967.
2. **Davidson J. F.** Fluidization. — N.-Y.: Academic Press, 1971.
3. **Протодяконов И. О., Чесноков Ю. Г.** Гидромеханика псевдоожигенного слоя. — Л.: Химия, 1982.
4. **Kunii D., Levenspiel O.** Fluidization Engineering. — Boston: Butterworth-Heinemann, 1991.

Секция 42

ТЕХНИКА И ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Председатель секции — д.т.н., профессор А.П. Крюков
Секретарь секции — к.т.н., доцент П.В. Королев

Э. Р. Хусаинова, студент;
рук. В. И. Могорычный, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОХЛАЖДЕНИЕ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

В работе проведен обзор материалов по охлаждению ПНГ, и осуществлено сравнение существующих схем холодоснабжения.

Рассмотрены 3 основных вида схем: DX-схема, схема с циркуляционной подачей хладагента и схема с промежуточным хладоносителем. Обосновано их применение, а также отражены достоинства и недостатки. Сравнительные характеристики приведены в табл. 2. Сделан вывод, что наиболее выгодной с точки зрения технических и экономических параметров является система с циркуляционной подачей хладоносителя.

В табл. 1 приведен сравнительный анализ следующих хладагентов (исходные данные: $Q_0 = 4750$ кВт, $t_0 = -32^\circ\text{C}$, $t_k = 45^\circ\text{C}$): R22 (для которого изначально рассчитывалась установка), R507 и R290 (пропан). Обоснован выбор хладагента R507 (имеет невысокую степень сжатия, применяется при довольно низких температурах кипения и высоких температурах конденсации, экологичен, не токсичен, взрывобезопасен, замена рабочего тела на R507 проходит с минимальными экономическими затратами) и нецелесообразность применения R134a, R407, R410, R404, а также использования пропанового цикла.

Таблица 1. Характеристики рабочих тел

Раб. тело	R22	R290	R507	R134a	R407	R410	R404
q_0 , кДж/кг	135,00	218,31	89,83	114,16	120,66	127,73	75,78
m , кг/с	35,19	21,76	52,88	41,61	39,37	37,19	62,68
π_H	11,52	9,97	10,74	15,05	15,58	10,71	10,94
ϵ_T	1,694	1,610	1,465	1,618	1,391	1,466	1,256
η_{ex}	0,541	0,514	0,468	0,517	0,444	0,468	0,401

Таблица 2. Сравнение схем

Параметры	Непосредственное кипение	Промежуточный хладоноситель	Циркуляционная подача
Q_0 , кВт	500	500	500
Хладагент	R290 (пропан)	R290 (пропан)	R290 (пропан)
$T_{\text{вых}}$, °C	- 20	- 20	- 20
$T_{\text{к}}$, °C	45	45	45
T_0 , °C	- 25	- 30	- 25
Перегрев	7	7	7
$N_{\text{к}}$, кВт	320	375	307
$\epsilon_{\text{т}}$	1,56	1,33	1,63
Экономия в год, кВт*ч	113 100	591 600	0

Ю. С. Ключникова, студ.;
рук. Т. А. Алексеев, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ МАШИН СТИРЛИНГА

В криогенной технике большое распространение получили машины Стирлинга. Они имеют наивысший КПД и наиболее компактны.

Все многообразие конструктивных решений машин с циклом Стирлинга и других ГKM с гармоническим движением поршней сводится к 3 основным схемам.

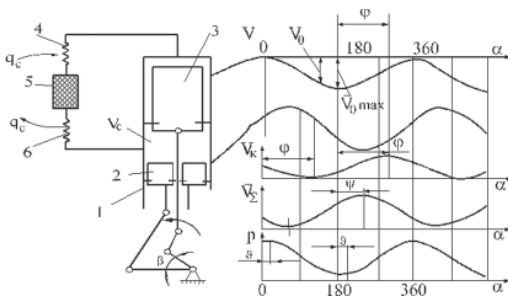


Рис. 1. Классическая схема с соосным расположением поршня и вытеснителя, с вынесенным регенератором

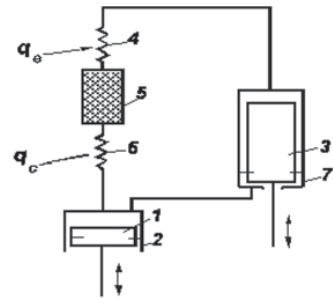


Рис. 2. Схема с разнесенным расположением поршня и вытеснителя (сплит-Стирлинг), с вынесенным регенератором

Схема 3 очень близка к схеме 1, только в ней регенератор встроен в вытеснитель.

По методике Шмидта для расчета холодильных машин Стирлинга производится классический анализ работы двигателей Стирлинга по каждой из схем и проводится исследование вариантов выполнения конструктивных схем машины.

Принимаются основные допущения, принятые в цикле Шмидта. По данной методике был произведен расчет основных элементов машины, а именно регенератора, холодильника, конденсатора.

В настоящее время в своей работе мы задаемся основными исходными данными и проводим полный расчет по каждой из схем.

Литература

1. Walker G. Stirling-cycle machines. Машины, работающие по циклу Стирлинга / Пер. с англ. — М.: Энергия, 1978. — 152 с.

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

ТОЛЩИНА ПАРОВОЙ ПЛЕНКИ ПРИ ПЛЕНОЧНОМ КИПЕНИИ АЗОТА НА ПОВЕРХНОСТИ КАПЛИ ВОДЫ

В различных технологических процессах используется криогенное замораживание капель жидкости. Например, так происходит при криогранулировании жидкофазных суспензий, при получении монодисперсных гранул сплавов редкоземельных металлов и др. В таких процессах возможно возникновение ситуации, когда объект замораживания располагается на поверхности криоагента, это могут быть, например, водяные капли на поверхности азота, которые описываются в настоящей работе.

Рассматривается формообразование межфазной поверхности жидкость-пар, а также влияние высокоинтенсивных процессов тепломассопереноса на толщину паровой пленки. В связи с малыми размерами объектов исследования силы поверхностного натяжения играют здесь существенную роль.

Предполагается следующая физическая модель процесса стационарного плавления капли воды в жидком азоте. Шар радиусом R_w плавает в насыщенной жидкости, давление над свободной поверхностью которой равно P_b . Температура шара T_w такова, что на его поверхности образуется устойчивая паровая пленка толщиной δ . Форма осесимметричной границы раздела фаз пар — жидкость описывается в цилиндрической системе координат $z-r$. За начало отсчета принята нижняя (лобовая) точка межфазной поверхности, располагающаяся на вертикальной оси шара. Давление над зеркалом жидкости P_b равно атмосферному. Расстояние от начала координат до свободной поверхности жидкости h_0 и глубина погружения шара h_w определяются в результате решения. Изменения давления пара P'' и толщины паровой пленки δ рассматриваются в зависимости от угла между вертикальной осью и отрезком от центра шара до текущей точки паровой пленки φ .

Математическое описание процессов тепломассопереноса на межфазной поверхности включает в себя: уравнение теплопроводности для переноса тепла в паровой пленке, уравнение Лапласа, уравнение гидростатического равновесия. Принимается, что поскольку жидкость является насыщенной, весь тепловой поток от нагревателя затрачивается на испарение жидкости. При допущении о постоянной кривизне межфазной поверхности (паровая пленка эквидистантна нагревателю) преобразования приводят к обыкновенному дифференциальному уравнению относительно толщины паровой пленки:

$$\frac{d\delta}{d\varphi} = \frac{\bar{\lambda}''(T_w - T_1) R_w \xi \bar{\eta}'' \cdot (R_w + \delta)}{L \cdot \rho'' \rho' g \cdot \delta^3 \cdot \sin \varphi \cdot (3R_w + 4\delta)} - \frac{2\delta \cdot (R_w + \delta) \cdot \cos \varphi}{(3R_w + 4\delta) \cdot \sin \varphi} \quad (1)$$

где L — теплота фазового перехода; T_1 — температура межфазной поверхности; ξ — коэффициент гидравлического сопротивления при ламинарном неста-

билизованном течении; ρ'' , ρ' — плотности пара и жидкости соответственно; g — ускорение свободного падения; η'' — вязкость пара; λ'' — теплопроводность пара.

В качестве граничного условия принимается равенство нулю первой производной в лобовой точке:

$$\text{при } \varphi = 0, \quad d\delta/d\varphi = 0 \tag{2}$$

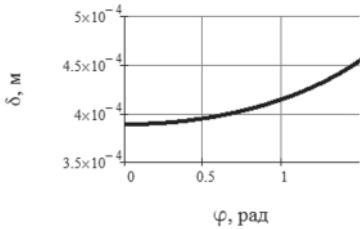


Рис. 1. Изменение толщины паровой пленки по сечению

В результате численного решения методом Рунге–Кутты в среде MathCad уравнения (1) с граничным условием (2) получены зависимости основных характеристик процессов тепломассопереноса (толщина паровой пленки, плотность теплового потока в паре и в жидкости, гидростатическое давление) по сечению паровой пленки для капли воды диаметром 3 мм, плавающей в жидком азоте при атмосферном давлении. При этом по мере приближения к свободной поверхности жидкости гидростатическая разность уменьшается, а толщина паровой пленки, соответственно, увеличивается. Интерес представляет распределение толщины паровой пленки по координате (рис. 1).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 17-08-00805).

*Д. О. Крюков, магистрант;
рук. В. З. Манусов, д.т.н., проф. (НГТУ, Москва)*

ИСПЫТАНИЯ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩЕГО СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ТРАНСФОРМАТОРА

Хорошо известно, что конструкция традиционных трансформаторов в известной степени доведена до совершенства. И в условиях пока еще высокой стоимости сверхпроводников сверхпроводящие трансформаторы едва ли смогли бы составить им конкуренцию. Однако сверхпроводящие трансформаторы в противовес обыкновенным способны эффективно ограничивать токи короткого замыкания за счет увеличения резистивности обмоток при протекании по ним аварийных токов.

Многие зарубежные исследователи далеко продвинулись в изучении столь спорного вопроса [1]. Даже в России есть опыт создания 1 МВА, 10/0,4 кВ сверхпроводящего трансформатора, испытания на токоограничения которого к настоящему времени, к сожалению, не были проведены [2].

Поэтому в НГТУ была предпринята попытка создания собственной физической модели сверхпроводящего трансформатора и всесторонние испытания его токоограничивающей способности (рис. 1). Испытания проводились при различной длительности короткого замыкания с последующим отключением и возвратом в нагруженный режим, что имитирует таким образом работу устройства автоматического повторного включения (АПВ). Этот режим является особенно интересным, поскольку спустя цикл работы АПВ, сверхпроводящий трансформатор должен вернуться в сверхпроводящее состояние в течение времени бестоковой паузы. За это время нагретшиеся в результате протекания аварийного тока обмотки должны остыть до первоначальной температуры.



Рис. 1. Обмотки сверхпроводящего понижающего трансформатора: слева — первичная; справа — вторичная

Литература

1. **Wang Y. et al.** Development of a 630 kVA three-phase HTS transformer with amorphous alloy cores // IEEE Transact. Appl. Superconductivity. — 2007. — Т. 17, № 2. — С. 2051–2054.
2. **Волков Э. П. и др.** Первый в России ВТСП трансформатор 1 МВА, 10/0,4 кВ // Изв. РАН. Энергетика. 2016. № 5.

*В. О. Майоров студент;
рук. А. К. Ястребов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБ ОБЪЕМНОЙ КОНДЕНСАЦИИ В ЛАМИНАРНОЙ ДИФфуЗИОННОЙ КАМЕРЕ В ДВУМЕРНОЙ ПОСТАНОВКЕ

Основная цель работы — изучение процесса объемной конденсации при течении парогазовой смеси в конденсаторе ламинарной диффузионной камеры (ЛДК).

Исследование объемной конденсации осуществляется путем прямого численного решения основного кинетического уравнения для функции распределения капель по размерам. Объектом исследования является ламинарное ($Re \approx 100$) стационарное течение парогазовой смеси (рассматривалась смесь *n*-бутанол–гелий) в конденсаторе ЛДК. Во входном сечении канала заданы следующие параметры: объемный расход и общее давление смеси, значения температур сатуратора, подогревателя и конденсатора, и внутренний диаметр канала. Полагается, что температуры газообразной и жидкой фаз равны. Для описания течения используются упрощенный подход: задается параболический профиль скорости, который не меняется по длине канала. Скорости жидкой и газообразной фаз одинаковы. Для описания распределений температуры парогазовой смеси и относительной плотности пара используются уравнения баланса энергии и массы. В уравнениях баланса присутствуют члены, которые учитывают вклад объемной конденсации (выделение скрытой теплоты фазового перехода и сток массы, обусловленный образованием и последующим ростом конденсированных частиц).

Для численного решения системы уравнений была написана программа. Расчеты проводились для различных значений температуры конденсатора, остальные параметры не изменялись. Было показано, что зависимость массовой доли образовавшейся жидкости от разности температур между паром на входе в конденсатор ЛДК и стенками конденсатора является немонотонной. Выполнена оценка условий, при которых влиянием объемной конденсации на параметры потока можно пренебречь. Полученные расчетные данные для температуры и степени пересыщения пара хорошо согласуются с результатами экспериментов других авторов, представленных в работе [1].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 16-08-00182).

Литература

1. Trávníčková T., Havlica J., Ždímal V. Description of fluid dynamics and coupled transports in models of a laminar flow diffusion chamber // J. Chem. Phys 139, 064701 (2013).

*В. А. Новиков, А. А. Градусов студ.;
рук. А. П. Крюков, д. т. н. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ КАПЕЛЬ В УСЛОВИЯХ АКУСТИЧЕСКОЙ ЛЕВИТАЦИИ

Основной целью работы является изучения возможности устойчивого удержания подвешенных в стоячей акустической волне капель жидкости для исследования процесса испарения.

Исследование процесса испарения проводится с целью дальнейшего применения разработанной методики к исследованию процессов испарения криогенных жидкостей. Состояние акустической левитации реализуется с помощью модернизированной установки созданной в Бристольском университете [1]. Принцип работы установки основан на получении стоячей акустической волны с помощью двух групп ультразвуковых пьезоэлементов расположенных друг над другом. Теоретическая основа реализуемого процесса рассмотрена в [2]. В процессе проведения эксперимента измеряется изменение объема подвешенных в стоячей акустической волне капель жидкости с течением времени (см. рис. 1). Температура, атмосферное давление и влажность воздуха известны.

Полученные результаты сравниваются с результатами из [3], на основе чего сделаны выводы о возможности применения состояния акустической левитации для исследования процессов испарения капель жидкости и целесообразности проведения подобных опытов с криогенными жидкостями.



Рис. 1. Процесс эволюции подвешенной в акустической волне капли изопропилового спирта

Литература

1. **Asier Marzo, Adrian Barnes, Bruce W. Drinkwater.** TinyLev: A multi-emitter single-axis acoustic levitator // *Review Scientific Instruments* 88, 085105 (2017).
2. **Горьков Л. П.** О силах, действующих на малую частицу в акустическом поле в идеальной жидкости // *Доклады Академии наук СССР*. — 1961. — Т. 140 (1). — С. 81–91.
3. **Borodulin V. Yu., Letushko V.N., Nizovtsev M.I., Sterlyagov A.N.** Determination of parameters of heat and mass transfer in evaporating drops.

А. А. Сидоров асп.; рук. А. К. Ястребов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

CFD-ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕМНОЙ КОНДЕНСАЦИИ ПРИ ИСТЕЧЕНИИ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ ЧЕРЕЗ СОПЛО

Методами вычислительной гидродинамики (Computational fluid dynamics) [1] проведено исследование объемной конденсации при сверхзвуковом течении парогазовой смеси через сопло. Решение задачи для одномерного стационарного случая было получено в [2]. Однако, ввиду использования в экспериментальных исследованиях [3] щелевого сопла представляется целесообразным решение задачи в трехмерной постановке.

В связи с этим рассматривается трехмерное стационарное течение смеси пар-газ, в которой в качестве конденсирующегося пара используется тяжелая вода, а в качестве газа-носителя — азот, течение при этом рассматривается в сверхзвуковой части сопла. Граничные условия представлены в виде условия *pressure-inlet* (подразумевается задание в явном виде давления смеси) на входе в сопло, и условием *outflow* на выходе. Исследование проводилось для нескольких наборов входных данных.

Для описания многофазного течения использована модель *Volume of Fluid* в неявной постановке с учетом гравитации.

Посредством UDF-файлов стандартный решатель был функционально расширен — была подключена классическая теория нуклеации Френкеля–Зельдовича, добавлено выражение для скорости роста и определения критического радиуса капель. Получены зависимости температуры, давления, скорости нуклеации, степени пересыщения, качественно согласующиеся с данными экспериментов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 16-08-00182).

Литература

1. **Anderson J. D. Jr.** Computational Fluid Dynamics. The basics with applications. McGraw-Hill Science/Engineering/Math; 1 edition (February 1, 1995).
2. **Сидоров А. А., Ястребов А. К.** Влияние геометрических характеристик канала и свойств парогазовой смеси на объемную конденсацию при течении в сопле // Теплоэнергетика, 2018, № 1, 68–76.
3. **Pathak H., Mullick K., Tanimura S., Wyslouzil B. E.** Nonisothermal Droplet Growth in the Free Molecular Regime // Aerosol Science Technology, 47:1310–1324, 2013.

*С. С. Спиридонов, студ.;
рук. П. В. Королев, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХОЛОДИЛЬНЫХ ЦИКЛОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОТОКОВ ПРОПАНА И БУТАНА НА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕМ ТЕРМИНАЛЕ

Целью настоящей работы является изучение влияния тех или иных изменений холодильного цикла на его эффективность.

Исследование проводится для разных холодильных циклов с различными хладагентами при заданных значениях холодопроизводительности. В качестве критерия эффективности принимается достижение минимального энергопотребления компрессора. При выборе хладагента также учитываются и его экологические свойства.

Рассматриваются парокомпрессионный цикл, двухступенчатый цикл с промежуточным охлаждением и двухступенчатый цикл с экономайзером. Для холодильных циклов подбираются компрессоры компании Maekawa (MYCOM) или Bitzer (в зависимости требующейся объемной производительности). По их паспортным данным и производится вычисление энергопотребления.

Хладагенты, рассмотренные в работе:

- Пропилен (R1270);
- R404a;
- Дифторхлорметан (R22).

Для расчета теплофизических свойств хладагентов используется программа NISTREFPROP.

Литература

1. **Кириллин В. А., Сычев В. В., Шейндлин А. Е.** Техническая термодинамика. Москва.: «Энергоатомиздат», 1983.
2. **Антонов А. Н., Архаров А. М., Архаров И. А. [и др.].** Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты: учебник для вузов; общ. ред. Архаров А. М., Буткевич И. К. — 2-е изд., испр. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015.

*Е. В. Вишнеvский, аспирант;
рук. А. В. Бухаров, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МОНОДИСПЕРСНЫХ МИШЕНЕЙ

В соответствии с проведенными расчетами, при вводе тонких жидких струй со скоростью большей 100 м/с в вакуум, струи на расстоянии до 1 мм не успевают замерзнуть и могут быть разбиты на монодисперсные капли [1]. Капли за счет испарения охлаждаются и становятся гранулами. Высокоскоростные монодисперсные гранулы-мишени обладают следующими важными преимуществами: непосредственный ввод в вакуум (нет необходимости в камере тройной точки и шлюзах); можно получать мишени с диаметром меньшим 20 мк из различных жидкостей, включая обычную воду и криогенные жидкости (H_2 , D_2 , N_2 , Ar...); дисперсия по размерам не превышает 1%; высокая скорость мишеней (свыше 100 м/с); точная синхронизация момента попадания гранулы в пучок ускорителя с моментом включения датчиков.

Для исследования теплофизических процессов получения высокоскоростных гранул была создана специальная экспериментальная установка. Из принципа работы установок по получению монодисперсных гранул [2] видно, что наиболее сильное влияние на стабильность потока мишеней оказывают шлюзы. Основным отличием нашей установки является отсутствие шлюзов между вакуумными камерами, что позволило существенно упростить конструкцию установки и уменьшить ее размеры.

Работа установки происходит следующим образом:

Высокоскоростная жидкая струя вытекает из генератора монодисперсных капель в вакуумную камеру. Под действием специального возмущения струя распадается на капли. Поскольку давление в вакуумной камере ниже давления около поверхности капель, происходит интенсивное испарение жидкости. В результате капли охлаждаются, замерзают и становятся твердыми монодисперсными гранулами-мишенями.

Литература

1. **Boukharov A., Vishnevskii E.** High speed cryogenic monodisperse targets for high intensity cyclic and linear accelerators // Proceedings of RuPAC2016, St. Petersburg, Russia, 2016. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. — URL: <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/rupac2016/papers/wepsb077.pdf>
2. **Бухаров А. В., Гиневский А. Ф., Дмитриев А. С. и др.** Криогенные корпускулярные мишени. Концепция и основная модель. — М.: Изд-во МЭИ, 2002. — 36 с.

И. А. Ячевский, асп.; рук. П. В. Королев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ПЛЕНОЧНОМУ КИПЕНИЮ НЕ-II НА ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ НАГРЕВАТЕЛЕ ВНУТРИ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ

Для решения актуальных проблем гидродинамики и теплопереноса при кипении сверхтекучего гелия (Не-II) немалую ценность могут представлять новые экспериментальные данные, обработка которых позволила бы получить результаты, пригодные для всестороннего анализа.

В докладе приводятся результаты анализа опытных данных по пленочному кипению гелия-II на поверхности гладкого цилиндрического нагревателя, расположенного по оси цилиндрической пористой оболочки, представляющей собой многослойную тканую металлическую сетку, помещенную внутри корпуса экспериментальной ячейки [1].

Процесс кипения Не-II в стесненных условиях исследуется в целях выявления влияния таких условий на режим кипения, форму и замкнутость паровой пленки. Эксперименты проводились в загерметизированной ячейке и в ячейке со снятыми торцевыми стеклами. При снятых торцевых стеклах в зависимости от условий проведения экспериментов наряду с характерным для Не-II пленочным кипением с замкнутой пленкой наблюдалось необычное для сверхтекучей жидкости пленочное кипение с незамкнутой пленкой. В загерметизированной же ячейке наблюдался исключительно режим кипения с незамкнутой пленкой.

Характерные значения режимных параметров экспериментов в загерметизированной и разгерметизированной ячейке представлены в табл. 1.

Таблица 1. Режимные параметры экспериментов

Вид паровой пленки	Удельный тепловой поток с нагревателя, q , кВт	Температура гелия-II, T , К	Давление паров гелия, P , Па	Толщина паровой пленки δ , мм	Глубина погружения ячейки, H , мм
Замкнутая	19,2	2,09	2933	0,6	230
Незамкнутая	38,8	1,87	1999	0,8	155

Дальнейшие исследования планируется посвятить определению влияния конструкции ячейки и характеристик поверхности нагревателя на структуру паровой пленки в Не-II.

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.

*Е. Г. Плинер, студ.;
рук. к.т.н., доц. А. Ф. Гиневский (НИУ «МЭИ», Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЬДА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ

Механические свойства льда интересны человеку для различных сфер деятельности:

- хоккей, фигурное катание, бобслей, керлинг, шорт-трек;
- аэродромы, переправы для машин в Арктической зоне.

Цель данной работы — исследование прочностных характеристик льда, модифицированного полимерными добавками.

Способ решения данной задачи — анализ свойств льда, который осуществляется в несколько этапов:

1. Изучение научной литературы, касающейся темы исследования.
2. Подбор подходящих материалов для эксперимента.
3. Проектирование холодильной камеры.
4. Проведение эксперимента.
5. Обработка результатов.
6. Заключение и выводы

На одном из этапов эксперимента исследование проводится на опытном стенде. В начале был проведен расчет теплопритоков. Они дали необходимую холодопроизводительность:

$$Q_0 = Q_{ос} + Q_{двери} + Q_{пер} + Q_{осв} + Q_{эд} + Q_{обр} = 1.7 \text{ кВт.}$$

После этого подбирается холодильная машина.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили сформулировать следующие вывод: в результате проведенных испытаний на прочность показано, что при добавлении модификаторов прочность льда увеличивается примерно до 2 раз.

Литература

1. **Архаров И. А., Гончарова Г. Ю.** Экспериментальное исследование ледовых структур, модифицированных полимерами // Холодильная техника. 2010. № 11. С. 46–50.

Секция 43 НАНОТЕХНОЛОГИИ

Председатель секции — д.т.н., профессор А.С. Дмитриев
Секретарь секции — инженер Д.В. Болтунов

Д. Д. Бабенко, студ.; С. А. Ромашевский, научн. конс. (ОИВТ РАН);
рук. И. А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЦЕССЫ СМАЧИВАНИЯ И ИСПАРЕНИЯ ИЗОПРОПИЛОВОГО СПИРТА И ВАКУУМНОГО МАСЛА НА ПОВЕРХНОСТЯХ КРЕМНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФЕМТОСЕКУНДНЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

В работе представлено исследование в области фемтосекундного лазерного структурирования. Фемтосекундными лазерными импульсами (ФЛИ) проведена модификация поверхностей кремния, в результате которой получено два экспериментальных образца. Проведен сравнительный анализ гидродинамических и теплофизических свойств модифицированного кремния по сравнению с полированным кремнием.

Цель работы — изучение свойств модифицированного кремния для получения гидрофобных и гидрофильных поверхностей. Физико-химические свойства такого рода наноструктурированных поверхностей перспективно для микро- и нанофлюидики, биомедицины и многих других областей.

В работе содержатся методики и схемы экспериментальных установок для получения и анализа поверхностей, модифицированных ФЛИ, и результаты проведенных исследований. В качестве рабочих жидкостей использовались: вода, изопропиловый спирт (ИПС), вакуумное масло. Часть полученных результатов приведена на рис. 1.

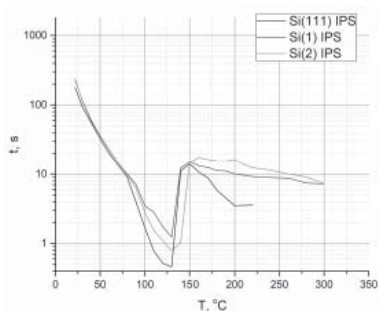


Рис. 1. Зависимости времени испарения ИПС от температуры подложки. Si(111) — полированный кремний, Si(1), Si(2) — образцы модифицированного кремния

Литература

1. Дмитриев А. С., Михайлова И. А. Физико-химия наноструктур. Изд-во МЭИ, 2013. — 240 стр.
2. Крюков П. Г. Фемтосекундные импульсы. ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 208 стр.
3. Babenko D. D., Dmitriev A. S., Makarov P. G., Mikhailova I. A. On thermophysical effects on the surface of functional nanostructured materials obtained with the application of femtosecond laser pulses // J. Physics: Conf. Series 891 (2017) 012360.

*Д. Д. Бабенко, студ.; А. В. Овчинников, научн. конс. (ОИВТ РАН);
рук. И. А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОГО ВЫПРЯМЛЕНИЯ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ, НА МНОГОСЛОЙНЫЙ ГРАФЕН

Представлено исследование в области терагерцового (далее ТГц) взаимодействия с материалами. В данном исследовании описана схема получения импульсного терагерцового излучения методом оптического выпрямления в органическом кристалле (использовался кристалл DSTMS), а также методика измерений ТГц излучения с помощью балансных диодов и автокоррелятора.

Цель работы — изучение спектра пропускания графена в терагерцовом диапазоне. В рамках работы сделаны образцы многослойного графена на поверхности кремния. Использование кремния как подложки обусловлено тем что он прозрачен для проходящего через него терагерцового излучения. Графен наносился на подложку путем осаждения из коллоидного раствора. Уникальностью этой работы является факт использования многослойного графена вместо однослойного.

В работе представлены методики и схемы экспериментальных установок для получения ТГц излучения и анализа образцов на пропускание ТГц излучения, а также результаты проведенных исследований на многослойном графене.

Работа поддержана Российским научным фондом (проект № 17-19-01757).

Литература

1. **Овчинников А. В., Чефонов О. В., Молчанов В. Я., Юшков К. Б., Викарио К., Хаури К.** Генерация перестраиваемого по частоте импульсного терагерцового излучения хром-форстеритовой лазерной системой с акустооптическим управлением временным профилем импульсов // Квантовая электроника. 46, № 12 (2016).
2. **Дмитриев А. С., Михайлова И. А.** Физико-химия наноструктур: учебное пособие. Издательство МЭИ, 2013. — 240 стр.
3. **Blanchard F, Razzari L, Bandulet H. et. al.** Generation of 1.5 μJ single-cycle terahertz pulses by optical rectification from a large aperture ZnTe crystal // OPTICS EXPRESS. — 2007. — Vol. 15, N 20. — P. 13212–13220.
4. **Vicario C., Ovchinnikov A. V., Ashitkov S. I., Agranat M. B., Fortov V. E., Hauri C. P.** Generation of 0.9mJ THz pulses in DSTMS pumped by a Cr: Mg₂SiO₄ laser // Opt. Lett. 39 (23), 6632–6635 (2014). 16.

К. О. Дераженко, студ.;
рук. А. С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ПЕН С ДОБАВКАМИ НАНОКОМПОНЕНТ

В последнее время значительно возрос интерес к изучению нанокompонентных пен и их применению [1, 2]. В данной работе проведены исследования по созданию и изучению пены на базе органических жидкостей и полимеров с добавлением нанокompонент (графеновые хлопья и порошки нанодиамаза).

В ходе работы были изучены механические, оптические и электрические свойства полимерной пены. К механическим свойствам относятся: стабильность получаемой пены, время ее осаждения и жесткость. Для изучения оптических свойств использован спектрофотометр. Электрические свойства пены исследовались на базе схемы мультивибратора [1].

Сопротивление плечей схемы определяется соотношением $R = \tau/C$, где τ — время горения лампы мультивибратора, измеряется экспериментально; значение C — номинальное значение емкости конденсаторов. Кроме этого, были сопоставлены результаты для полимерной пены, содержащей нанокompоненты, с пеной без нанодобавок.

Выполнен анализ возможностей использования нанопены в качестве легких проводящих материалов и механических компонент в различных энергетических и электронных устройствах.

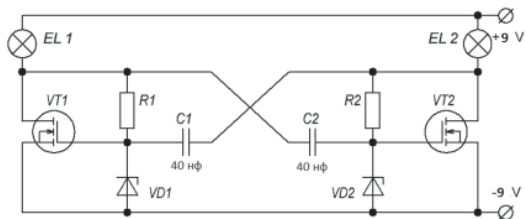


Рис. 1. Схема мультивибратора

Литература

1. Sha J., Li Y., Salvatierra R. et al. Three-Dimensional Printed Graphene Foams. ACS Nano. 2017, 11, 6860–6867.
2. Zhang L., de Armond D., Alvarez N. et al. Beyond Graphene Foam, a New Form of Three-1 Dimensional Graphene for Supercapacitor Electrode // J. Mater. Chem. A. 2015.
3. Кулезнев В. Н. Химия и физика полимеров. — М.: КолосС, 2007.

*Ш. А. Казымов, студент;
рук. Ю. А. Волков, к. ф. м. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕШНЕГО ПОЛЯ PIN-ДИОДА



Рис. 1. Схема P.I.N-диода

Математическое моделирование радиационных эффектов в изделиях микроэлектроники невозможно без конфигурации электрического поля, создаваемого приложенным к изделию напряжением [1]. В данной работе в качестве изделия микроэлектроники рассматривается PiN-диод. Если приложить отрицательное напряжение к р-области, образовавшееся поле заставит электроны из i-области переходить в п-область, а дырки в р-область. При таком приложенном (запорном) напряжении диод не проводит и является детектором ионизирующего излучения [2].

Внешнее поле получается из решения уравнения Пуассона для потенциала в i-области. Уравнение решалось методом Фурье на заданной сетке.

Литература

1. **Berezin A. V., Volkov Y. A., Markov M. B., Tarakanov I. A.** The radiation-induced conductivity in silicon // *MATHEMATICA MONTISNIGRI*, Vol XXXIII (2015) 69–87.
2. Радиационная стойкость изделий ЭКБ: Научное издание / Под ред. д-ра техн. наук, проф. А. И. Чумакова. М.: НИЯУ МИФИ, 2015. — 512 с.
3. **Никифоров А. Ю., Телец В. А., Чумаков А. И.** Радиационные эффекты в КМОП ИС. — М.: Радио и связь, 1994.

Ю. К. Монгуш, студ.;
рук. О. С. Зуева, к. ф.-м..н., доц. (КГЭУ, Казань)

САМООРГАНИЗАЦИЯ МОЛЕКУЛ КАТИОННОГО ПАВ В ПРИСУТСТВИИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Все более широкое применение углеродных нанотрубок (УНТ) для практических целей [1] ставит вопрос о наиболее эффективных методах их диспергирования и происходящих при этом процессах. Молекулы поверхностно-активных веществ (ПАВ), находящиеся в различных растворителях, в силу особенностей своей структуры обладают способностью к адсорбции на поверхностях и к спонтанной агрегации в различные наноструктуры. Целью данной работы явилось экспериментальное исследование процессов самоорганизации молекул ПАВ, приводящих к появлению супрамолекулярных структур с характерными размерами в несколько десятков микрон, а также воздействие добавления углеродных нанотрубок на происходящие процессы. В данной работе методами сканирующей электронной микроскопии (Merlin, Carl Zeiss, Германия), кондуктометрии (кондуктометр InoLab COND 7310) и тензиометрии (тензиометр KRUSS) были исследованы дисперсии ЦТАБ — цетилтриметиламмоний бромид и суспензии углеродных нанотрубок углеродного наноматериала Таунит в дисперсиях ЦТАБ. Ранее было показано, что доминирующий механизм адсорбции некоторых анионных ПАВ может быть мицелярным [2]. Полученные данные по ЦТАБ подтверждают указанный вывод. Поскольку адсорбция молекул ПАВ на углеродной поверхности приводит к повышению их локальной концентрации вблизи нанотрубок, появляющиеся мицеллы, а затем везикулы за счет сильного взаимодействия перерастают в бислои — строительный материал супрамолекулярных комплексов [3].

Результаты проведенных экспериментов дают вклад в изучение механизмов формирования супрамолекулярных структур. Показано, что углеродные нанотрубки могут выступать в роли стимуляторов образования бислоев и роста супрамолекулярных структурных комплексов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-08-00731-а).

Литература

1. Наноматериалы и нанотехнологии в энергетике / Под ред. Э.В. Шамсутдинова и О.С. Зуевой. Казань, 2014.
2. **Zueva O. S., Makarova A. O., Faizullin D. A.** Creating carbon nanotubes microenvironment in surfactant water solutions // *Solid State Phenomena*. 2017. V. 265. P. 342.
3. **Зуева О. С., Сальников В. В., Осин Ю. Н., Зуев Ю. Ф.** Влияние углеродных нанотрубок на супрамолекулярные структуры поверхностно-активных веществ // *Жидк. крист. и их практич. исполъз.* 2016. Т. 16 (1). С. 90.

Ю. К. Монгуш, студ. КГЭУ, А. О. Макарова, асп. КИББ КазНЦ РАН;
рук. О. С. Зуева, к. ф.-м.н., доц. (КГЭУ, Казань)

ИЗМЕНЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА В ПРИСУТСТВИИ НАНОЧАСТИЦ

Требования экономичности, надежности, безопасности и необходимости снижения вредного воздействия на окружающую среду обуславливают разработку и внедрение новых технологий, обеспечивающих эффективность использования топлива в энергетических системах и комплексах. Важным эксплуатационным фактором являются вязкостные характеристики жидкого углеводородного топлива, разработка методов управления которыми за счет малых добавок некоторых веществ, в том числе наноструктур органического и неорганического происхождения, является весьма актуальной задачей [1, 2]. Ранее было показано, что для улучшения реологических свойств жидких гетерогенных систем, к которым относятся различные виды углеводородного топлива, могут быть использованы малые добавки наночастиц любой природы, в том числе углеродные нанотрубки [2]. Было отмечено, что наибольший эффект снижения вязкости наблюдается при определенной достаточно малой концентрации наночастиц, которая может быть найдена путем изучения концентрационных кривых зависимостей вязкости рассматриваемых жидких систем.

Целью данного исследования явилось изучение влияния добавок наноматериалов: углеродных нанотрубок отечественного углеродного наноматериала Таунит и обезвоженного карбонатного шлама водоочистки ТЭС на вязкостные характеристики котельного топлива. В качестве котельного топлива для исследований были взяты образцы высокосернистого топочного мазута марки М100 и водоугольного топлива, приготовленного на основе тощих углей Кузнецкого бассейна. Условная вязкость определялась с помощью вискозиметра Энглера ВУ-М-ПХП, динамическая вязкость — с помощью ротационного вискозиметра Rheomat RM. Угловая скорость вращения цилиндра варьировалась от 50 до 300 с⁻¹. Показана возможность изменения вязкости на 10–20%. Определены концентрации добавок, приводящих к улучшению реологических свойств топлива.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-08-00731-а).

Литература

1. Наноматериалы и нанотехнологии в энергетике / Под ред. Э.В. Шамсутдинова и О.С. Зуевой. Казань, 2014. В 2 томах.
2. Zvereva E. R., Zueva O. S., Khabibullina R. V., Makarova A. O. Nanomaterial effect study in the viscosity characteristics of fuel oil and alternative fuels // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. V. 11. P. 2950.

*М. А. Подкопаев, аспирант;
рук. И. А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРИНЦИП ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

В настоящее время предпочтительная область применения фотоэлектрического преобразователя (ФЭП) — искусственные спутники Земли, орбитальные космические станции, межпланетные зонды. Достоинства ФЭП: большой срок службы, отсутствие расхода активного вещества или топлива.

Преобразование энергии в фотоэлектрические преобразователи основано на фотоэлектрическом эффекте, который возникает в неоднородных полупроводниковых структурах. Неоднородность структуры ФЭП может быть получена путем соединения различных полупроводников с неодинаковой шириной запрещенной зоны — энергии отрыва электрона из атома, или же за счет изменения химического состава полупроводника, приводящего к появлению градиента ширины запрещенной зоны.

Фотоэлектрические преобразователи превращают изменение измеряемой величины в изменение сопротивления используемого материала (рис. 1).

Сопротивление материала является функцией плотности основных носителей заряда, и так как плотность увеличивается с возрастанием интенсивности излучения, то проводимость возрастает.

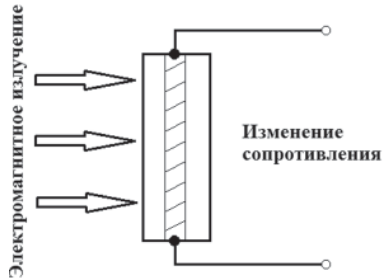


Рис. 1. Фотопроводящее преобразование

Литература

1. Пасынков В. В., Чиркин Л. К. Полупроводниковые приборы — М., 2009.
2. Лавриненко В. Ю. Справочник по полупроводниковым приборам — М., 2015.

В. С. Волгин, аспирант; А. Ф. Гиневский, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ГИБРИДНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Возобновляемые источники энергии являются будущим энергетики. С каждым годом возрастает эффективность и привлекательность возобновляемой энергетики, и соответственно возрастает необходимость и интерес к усовершенствованию уже существующих и поиску новых способов получения энергии из этих источников. Одним из новых способов является гибридная солнечная энергетическая установка, состоящая из вакуумных солнечных коллекторов, которые преобразуют солнечное излучение в тепло, и термоэлектрического генератора (ТЭГ), которые из этого тепла получают электроэнергию [1].

Для определения эффективности преобразования энергии, а так же перспектив использования гибридной солнечной энергетической установки с ТЭГ удобно применять численное моделирование. Благодаря ему можно производить предварительное исследование вариантов конструкции без создания полноразмерных прототипов.

В докладе представлена трехмерная математическая модель ТЭГ для солнечной гибридной энергетической установки. Модель была реализована в программной среде PHOENICS, а с помощью PHOENICS-Direct был создан удобный интерфейс позволяющий вносить изменения в конструкции. Работа программы основана на расчете распределения температурного поля в расчетной области, с помощью которого вычисляются выходные характеристики ТЭГ. В модели учитываются индивидуальные условия работы каждого отдельного модуля, из которых состоит ТЭГ. Для ускорения вычислений процесс расчета был разбит на несколько стадий, и была введена эффективная модель теплопроводности, которая позволяет учитывать особенности конструкции термоэлектрических модулей.

В работе представлены результаты расчетов характеристик ТЭГ, при различных условиях работы, а также проведен их анализ, на основе которого сделаны оценки эффективности работы устройства.

Литература

1. **Sheng L. J.** Hybrid Solar/Heat pipe/Thermoelectric power generation // Universiti Tunku Abdul Rahman, 2015.

Я. С. Волгин, аспирант;
рук. А. Ф. Гиневский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ УЛЬТРАДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ ПО РАЗМЕРАМ

Количество публикаций и исследований на тему коагуляции ультрадисперсных систем постоянно увеличивается; в их число входят и исследования механизмов получения наноматериалов, в частности, наночастиц. Данная работа посвящена выводу модели коагуляционного роста частиц и проведению численного моделирования эволюции системы жидких наночастиц.

Ключевым элементом описания эволюции коагулирующей системы является функция распределения частиц по размерам. Для ее нахождения используется система из уравнений, описывающих процесс коагуляционного роста.

Была составлена модель эволюции монодисперсной системы из уравнений, описывающих в дискретной форме коагуляцию каждого из сортов частиц:

$$\frac{dN_n}{dt} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{n-1} \alpha_{n-k,k} N_{n-k} N_k - N_n \sum_{k=1}^{N_{\max}} \alpha_{nk} N_k, \quad n = 1 \div N_{\max}$$

$$\alpha_{nk} = \left(n^{1/3} + k^{1/3} \right) \sqrt{\frac{n+k}{nk}} R_1^2 \sqrt{\frac{8\pi\kappa_B T}{m}} \exp\left(-\frac{E_a}{\kappa_B T} \right), \quad n, k = 1 \div N_{\max}.$$

где α_{nk} — коэффициент столкновения, N_{\max} — максимальное число сортов частиц, E_a — энергия активации, R_1 — размер частицы 1-го сорта.

Вывод выражения для коэффициентов столкновений выполнен с использованием ряда приближений [1] и допущения о сферичности жидких наночастиц, при этом величина энергии активации принимается равной нулю.

Было проведено численное исследование зависимости функции распределения частиц от времени. Получены графики распределений при разных начальных концентрациях и максимальных числах сортов частиц.

Полученные результаты будут в дальнейшем использованы в рамках создания численной модели генерации наночастиц в парогазовом потоке.

Литература

1. С. З. Аджиев, В. В. Веденяпин, Ю. А. Волков, И. В. Мелихов Обобщенные уравнения типа Больцмана для агрегации в газе // ЖВМиМФ. 2017. Т. 57. № 12. С. 138–151.

Чжан Сюйвэй, студ.;
рук. А. С. Дмитриев, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРОХРОМНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С НАНОКОМПОНЕНТАМИ ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ГИБКОЙ ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

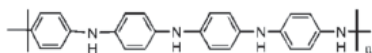


Рис. 1.

Электрохромные материалы изменяют оптические свойства при приложении к ним электрического напряжения. Оптические свойства таких материалов должны быть обратимыми, т. е. начальное состояние

должно возвращаться при изменении полярности напряжения [1, 2]. Электрохромные материалы, благодаря способности менять светопропускаемость в оптическом диапазоне, могут использоваться для создания «умных» стекол и дисплеев, в том числе гибких. В частности, применительно к «умным» стеклам, концепция изменяемой светопропускаемостью привлекательна, поскольку способна сократить расход энергии на кондиционирование.

В работе проведен синтез основных полимерных компонент, среди которых самыми распространенными проводящими полимерами являются полианилин и полипиррол. Наиболее важной формой полианилина, обладающей электропроводностью, является протонированное основание эмеральдина (рис. 1).

Полианилин обладает высокой термостабильностью, причем в эмеральдиновой форме он устойчив при нагревании до 200°C, его химический состав не меняется и нет потери массы. При нагревании от 200 до 300°C масса полианилина уменьшается примерно на 10%, при этом процентное содержание атомов углерода, водорода и азота в составе остается постоянным.

Для повышения электропроводности электрохромного полимера в работе использован метод добавления в него графеновых нанохлопьев. Проведено изучение оптических и электрофизических параметров полимера с наноконпонентами и сделан вывод о возможности использования такого подхода для получения стабильного электрохромного полимера для энергоэффективной энергетики и гибкой электроники.

Литература

1. G. Cai, J. Wang, P. Lee. Next-Generation Multifunctional Electrochromic Devices. Acc. Chem. Res. 2016, 49, 1469–1476.
2. C. Granqvist. Oxide electrochromics: An introduction to devices and materials. Solar Energy Materials & Solar Cells. 99 (2012) 1–13.

Направление
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Научный руководитель направления —
директор ИТАЭ, д.т.н., проф.,
член-корр. РАН А.В. Дедов

Секция 44

КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Председатель секции — д.т.н., профессор В.Б. Тупов
Секретарь секции — ассистент А.А. Каверин

Р. Р. Абдулвалиев, студ.;
рук. А. А. Тараторин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА ТЭС

Основное и вспомогательное энергетическое оборудование тепловых электрических станций оказывает физическое воздействие в виде шума, вибрации и электромагнитного излучения. Повышенные уровни шума — это огромная проблема, с которой сталкивается большое количество энергетических предприятий, и особенно это характерно для ТЭЦ, которые обычно располагают внутри городов вблизи селитебных территорий. Актуальность проблемы обусловлена тем, что шум оказывает пагубное влияние на здоровье как работников электростанций, так и на жителей районов.

В соответствии с классификацией ГОСТ 12.1.029-80 акустические экраны являются одним из средств звукоизоляции и по СП 51.13330.2011 представляют собой преграду конечных размеров, которая устанавливается между источником шума и частью помещения, защищаемого от шума. Различаются естественные и искусственные экраны. Искусственные — это специально сконструированные экраны для уменьшения шума в основном от локальных источников (трансформаторов, передвижных компрессорных, градирен и т.д.). Естественные экраны представляют собой складки рельефа местности, насыпи, здания предприятий и позволяют существенно снизить уровень шума от источника на пути его распространения. Свойство экранов снижать шум основано на отражении и рассеивании падающих на них звуковых волн. За экраном образуется «звуковая тень», если его размеры больше длины звуковой волны. Стоит отметить, что наибольшей эффективности экраны достигают в области высоких частот, наименьшей — в области низких частот [1].

Важным фактором использования акустических экранов является то, что их установка не должна влиять на качество работы оборудования. Например, установка экрана около градирен не должна изменять их охлаждающие способности, что достигается размещением экрана на достаточном расстоянии от окон градирни. Выбор расстояния осуществляется с помощью моделирования процессов течения воздуха в градирни с экраном и без него [2]. В данной

работе рассматриваются конструкции экранов, используемые для снижения шума от оборудования ТЭС, и даются рекомендации по использованию различных типов экранов.

Литература

1. **Тупов В. Б.** Снижение шума от энергетического оборудования. — М.: Издательство МЭИ, 2005.
2. **Тупов В. Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012.

М. С. Банакин, студент; рук. В. Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ, ИМЕЮЩИХ В СОСТАВЕ ПВК И ГАЗОВЫЕ ТУРБИНЫ

Котельные широко распространены для обеспечения тепловой энергией жилых и общественных зданий населенных пунктов, а также промышленных предприятий. Установка на них газовых турбин позволяет обеспечить так же надежное электроснабжение. При этом эти объекты могут негативно воздействовать на окружающую их среду. Одним из таких негативных факторов воздействия является шум. [1]

Основным источником шума, являются газовые тракты. Шум от газоходов ПВК значительно ниже, чем от ГТУ, и его воздействие обусловлено близким расположением к жилым районам. Излучателями шума являются срезы устья дымовых труб и воздухозаборы, причем шум от срезов устья дымовых труб больше. На примере котлов типа КВГМ рассмотрим шум, излучаемый в окружающий район. Котлы этого типа для эвакуации дымовых газов используют дымососы, и уровень излучаемой от них звуковой мощности зависит от их электрической мощности, режима работы. Шум дымососов имеет тональные составляющие на «лопаточной» частоте. [2]

Наиболее сильно на окружающую среду воздействует шум, излучающийся через воздухозаборный и выхлопной тракт ГТУ. Шум от воздухозабора обусловлен работой компрессора. В спектре этого шума также имеются тональные составляющие. Шум от выхлопного тракта ГТУ вызван процессом горения топлива, высокой скоростью прохождения газа через проточную часть, турбулентностью потока. Излучаемый шум от срезы выхлопной трубы ГТУ меньше, чем от воздухозабора. [2].

Для уменьшения шумового воздействия рассмотрены различные типы глушителей. Показано, что котлы-утилизаторы так же снижают шум, излучаемый газовыми турбинами. Рассмотрены требования к глушителям, одним из основных требований является достижение ими требуемой акустической эффективности.

Литература

1. **Тупов В. Б., Семин С. А., Тараторин А. А., Тупов Б. В.** Комплексное снижение шума от котельных малой мощности // Промышленная энергетика. 2015. № 5. с. 61–65.
2. **В. Б. Тупов** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду / В. Б. Тупов. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2012.

В. И. Быличкин студ., рук С. Л. Чернов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТУРБУЛЕНТНЫХ СТРУЙ С ЦЕЛЬЮ РАЗРАБОТКИ НОВОЙ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

На кафедре ТЭС НИУ «МЭИ» хорошо зарекомендовало себя изотермическое моделирование аэродинамики топочного объема паровых котлов на воздушных моделях.

Изотермическое моделирование аэродинамики топочного объема основывается на обеспечении равенства отношений динамических напоров струй на выходе из каждого прямого канала и потока топочных газов на уровне их расположения в модельном образце и реальном котле [1].

Горелки и сопла при изотермическом моделировании уменьшаются в масштабе меньше, чем линейные размеры топки.

Целью работы является физическое моделирование взаимодействия турбулентных струй в ограниченном объеме и в последующем, оптимизация сжигания твердого топлива.

В лаборатории представлена модель топки, повторяющая конфигурацию топочной камеры котла. Особенность физической модели — постоянство плотности и вязкости движущейся среды во всей модели [1].

На одной из горелок модели устанавливался электронагреватель из нихромовой проволоки на который от автотрансформатора подается напряжение. Для снятия температурных полей используется термомпара, закрепленная на координатном устройстве. Координатное устройство имеет возможность перемещения в трех взаимоперпендикулярных плоскостях и оснащено реохордом.

В ходе эксперимента были проведены искровые продувки всех горелок, и сделаны фотографии. Сняты и обработаны температурные поля воздушных струй. Построены зависимости температуры струи от координаты. Также были сняты показания динамического напора на оси горелки и посчитаны скорости потока.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-19-10463 от 12 марта 2016 г.).

Литература

1. **Волков Э. П., Прохоров В. Б., Архипов А. М., Чернов С. Л., Киричков В. С., Каверин А. А.** В кн.: Современные проблемы теплофизики и энергетики, Москва 2017: Оптимизация аэродинамики топочных устройств с целью повышения эффективности сжигания топлива и снижения выбросов оксидов азота, Москва: НИУ МЭИ.

С. А. Чувириова, асп.; рук. В. Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)

СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ШУМА ОТ ГРП НА ПУТЯХ ЕГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Снижение шума является важной задачей по обеспечению экологической безопасности ТЭС. Особенно эта проблема актуальна для ТЭЦ, которые находятся рядом с жилыми районами.

На ТЭЦ установлено большое количество оборудования, которое является источниками шума. Одним из интенсивных источников шумового загрязнения является газорегуляторный пункт (ГРП) ТЭЦ.

Внутри помещения ГРП уровень звука может превышать 100–110 дБА вместо допустимых 80 дБА. Характер шума от ГРП — постоянный широкополосный. Превышение допустимых норм [1] от ГРП по результатам измерений на расстоянии 1 м в среднем составляет 20–25 дБА. Максимальное значение в спектре приходится на высокие частоты, особенно для октавных полос со среднегеометрическими частотами 1000 и 2000 Гц [2].

Ориентировочные шумовые характеристики ГРП определены [2] и представлены в табл. 1.

Таблица 1. Ориентированные шумовые характеристики оборудования ТЭС

Источник шума	Уровень звуковой мощности, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ГРП	85–95	90–100	90–100	95–105	105–115	110–120	105–115	100–110
Газопровод после ГРП	80–90	85–95	85–96	95–105	100–110	105–115	100–110	95–105

Эффективными способами снижения уровня шума от ГРП на путях его распространения являются [3]:

- установка звукопоглощающих экранов для ГРП, которые устанавливаются практически вплотную к ограде ГРП;
- применение звукоизоляции для газопроводов после ГРП.

Проведены расчеты для определения габаритных размеров экранов для различных ГРП, а также даны рекомендации по звукоизоляции.

Литература

1. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. — М.: Минздрав России, 1997.
2. Тупов В. Б. Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. М.: Издательский дом МЭИ, 2012
3. Тупов В. Б. Комплекс мероприятий по снижению шума от ТЭС // Электрические станции. 2013. № 3.

*А. И. Файзуллина, студент;
рук. О. С. Попкова, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ГОРЕНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В УСТРОЙСТВАХ ТЕПЛОТЕХНИКИ

При проектировании современных теплотехнических установок необходимо учитывать состав продуктов сгорания. При сгорании в небольшом количестве могут образовываться экологически вредные токсичные газы, которые не оказывают влияние на условие работы, но нарушающие экологические показатели топок и печей.

Целью работы является расчет параметров для эффективного горения топлива. Этапами расчета являются: определение необходимого расхода воздуха на горения топлива, состава дымовых газов, а также температуры дымовых газов. На первом этапе необходимо на основании реакций окисления отдельных горючих частей определяются стехиометрические коэффициенты. На следующем этапе составляются уравнения горения топлива с кислородом воздуха с учетом закона равенства массы реагирующих веществ и продуктов сгорания. На заключительном этапе необходимо рассчитать коэффициент избытка воздуха и температуру горения топлива. При этом учитываются факторы понижающие тепловые эффекты процесса горения – недожог топлива, образование продуктов неполного сгорания, а также передача тепла через стенки топочного устройства.

Для примера рассчитывались влагосодержание и энтальпия дымовых газов и расход воздуха при горении челябинского угля, сжигаемого в выносной топке. За исходные данные принимаем: состав угля по справочным данным (%): $C^P=39,2$; $H^P=2,8$; $N^P=0,9$; $O^P=10,3$; $S^P=1,5$; $W^P=17$; $A^P=28,3$; требуемая практическая температура горения $t_{\text{п}}=1050\text{ C}^\circ$.

Коэффициент избытка воздуха рассчитывают из уравнения теплового баланса горения 1 кг топлива, для достижения необходимой практической температуры горения топлива. Калориметрическая температура определяется по требуемой практической температуре горения и характеристики топочного устройства. Для проектных расчетов можно использовать приближенные формулы теплоемкости, являющиеся линейными зависимостями от температуры.

В результате расчетов получено коэффициент расхода воздуха $\alpha=1,9$, влагосодержание $d=51,65\text{ г}$, энтальпия дымовых газов $H=1460\text{ кДж}$.

Литература

1. Михайловский В. П., Мартемьянова Э. Н., Ушаков В. В. Расчеты горения топлив, температурных полей и тепловых установок технологии бетонных и железобетонных изделий. Учебное пособие, 2011.

К. С. Фоменко, студ.; рук. Д. В. Чугунков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ШУМА ОТ ОБОРУДОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ В УСЛОВИЯХ МОДЕРНИЗАЦИИ

В настоящее время при строительстве новых жилых районов в крупных мегаполисах вблизи энергетических объектов при их модернизации, связанной с увеличением тепловой нагрузки, происходит негативное воздействие шума на селитебную территорию.

Акустическое обследование, проведенное авторами на одном из таких объектов, показало, что уровни звукового давления на селитебной территории превышают допустимые нормы на 0,5–11,5 дБ, особенно в низкочастотном диапазоне среднегеометрических частот. После анализа проведенных акустических расчетов [1] от оборудования данного объекта были выявлены основные источники шума — внешние газоходы водогрейных котлов и устья дымовых труб котлов.

По результатам проведенных исследований и вариантных расчетов были разработаны и согласованы мероприятия по снижению шума указанных выше источников: установка глушителей шума газовых трактов водогрейных котлов и модернизация внешних газоходов.

При разработке глушителей шума с учетом [2] было принято решение о создании комбинированного типа — совмещение кулисного и трубчатого глушителей шума. Применение данной конструкции позволяет обеспечить необходимое снижение шума от устьев дымовых труб с умеренным аэродинамическим сопротивлением, при этом конструкция имеет невысокие массогабаритные характеристики и является компактной, что позволяет ее размещать в стесненных условиях без усиления существующих фундаментов. Важно отметить, что глушители шума индивидуально спроектированы для каждого типа котлов и могут быть установлены на других котельных при внесении минимальных изменений.

Модернизация внешних газоходов предусматривает переход от прямоугольного сечения к круглому с применением на внутренней поверхности газоходов специальной композиции звукопоглощающих и теплоизоляционных материалов.

Литература

1. **ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1993)**. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Общий метод расчета. М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. 2007.
2. **Чугунков Д. В.** Современные подходы к разработке глушителей шума после дымоходов с учетом аэродинамических факторов. Материалы III Всероссийской НПК с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия». — Санкт-Петербург, 22–24 марта 2011. — С. 363–372.

*В. О. Гакинульян студент;
рук. В. Б. Тупов, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

СНИЖЕНИЕ ШУМА ОТ РТС РАСПОЛОЖЕННЫХ ВБЛИЗИ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ

Районные тепловые станции (РТС) расположены в 50–100 м от жилой застройки, являясь причиной превышения санитарных норм по шуму в окружающем районе. К снижению негативного воздействия предписывают санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [1], устанавливающие допустимые уровни шума на рабочих местах и территории жилой застройки. Также шум от энергетического оборудования РТС становится ограничивающим фактором для расширения станции. По этим причинам следует уделить внимание методам снижения шума в комплексе решения экологических задач. Особенно это актуально для крупных промышленных городов с развитой системой централизованного теплоснабжения, предприятия которой расположены в непосредственной близости к селитебной территории.

На районных и квартальных тепловых станциях (РТС и КТС) и на теплоэлектроцентралях наиболее часто используются водогрейные котлы типа ПТВМ (ПТВМ-50, ПТВМ-100). Основным источником шума от этих котлов является шум, излучаемый от срезов дымовых труб, а также шум от воздухозаборов [2]. Расчеты показывают, что излучение шума от котлов ПТВМ зависит от конструкции горелок и их производительности. Поэтому модернизация и использование более совершенных котлов позволяет снизить размер санитарно-защитной зоны. В условиях активного строительства жилых кварталов и расширение городов, данная проблема особенно актуальна.

Основным способом глушения шума для данных котлов является глушители, которые могут установлены в верхней части котла или в нижней части дымовой трубе [2–3]. Выполнены акустические и аэродинамические расчеты глушителей. Произведена визуализация акустических расчетов в программе Predictor для окружающего района для РТС с разным количеством котлов.

Литература

1. **СН 2.2.4/2.1.8.562-96.** Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
2. **В. Б. Тупов.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду // МЭИ 2012 г.
3. **Тупов В. Б., Семин С. А., Тараторин А. А., Тупов Б. В.** Комплексное снижение шума от котельных малой мощности // Промышленная энергетика, 2015, № 5, С. 61–65.

Н. О. Гурылева, студ.;
рук. В. Б. Прохоров, к. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ СТУПЕНЧАТОГО СЖИГАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА С ПРЯМОТОЧНЫМИ ГОРЕЛКАМИ И СОПЛАМИ ДЛЯ КОТЛА БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ*

В НИУ «МЭИ» проводятся исследования на физических холодных моделях топков котлов с целью повышения эффективности сжигания твердого топлива, повышения надежности работы котлов и снижения выбросов оксидов азота [1]. В данной работе приведены результаты исследований на физической модели, разработанной схемы сжигания твердого топлива с применением прямооточных горелок. С целью визуализации траекторий движения струй в модели проводились искровые продувки рис. 1.

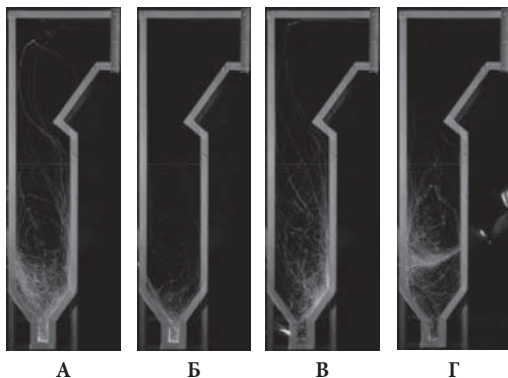


Рис. 1. Траектории движения струй пылеугольной горелки (А), газомазутной горелки (Б), сопла вторичного воздуха (В), сопла третичного воздуха (Г)

В результате исследований было получено следующее: предложенная схема сжигания обеспечивает высокоэффективное ступенчатое сжигание топлива, приводит к рассредоточению высокотемпературного ядра факела по ширине, глубине и высоте топки, создает большое количества вращающихся в разные стороны вихрей. Это выравнивает температуру в объеме топки и снижает максимальную температуру в зоне активного горения. Продувки показали отсутствие зон повышенного динамического давления факела на экранные трубы, что снижает возможность шлакования экранов.

В предложенной схеме сжигания горелки установлены с большим углом наклона вниз и выполнены прямоугольной формы. Это позволяет увеличить периметр зажигания и увеличить время нахождения продуктов сгорания в высокотемпературной зоне топки.

**Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда
Соглашение 16-19-10463*

Литература

1. Архипов А. М., Прохоров В. Б., Киричков В. С. Эффективность использования прямооточных горелок и сопел при реализации твердого шлакоудаления в топке котла ТПП-210А // Теплоэнергетика. 2017. № 2.

*Р. Р. Хуснутдинов, А. И. Файзуллина, студенты;
рук. О. С. Попкова, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

О ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ

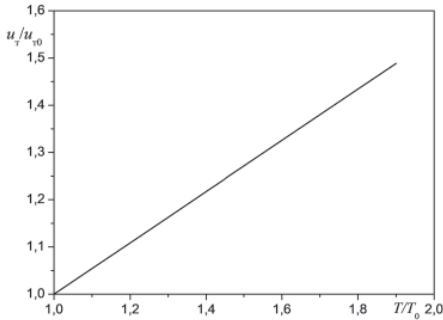


Рис. 1. Зависимость скорости распространения пламени от температуры

определить постоянные коэффициенты и получить соотношения, позволяющие определить зависимость скорости распространения пламени от температуры. Тогда изменение скорости распространения пламени в зависимости от температуры, принимая, что пульсационная скорость и масштаб турбулентности не зависят от температуры, выразиться в виде:

$$\frac{u_T}{u_{T_0}} = \frac{\left(1 + \frac{\Delta T}{T} u_{H_0} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{1,8}\right) + \frac{w'}{\sqrt{\ln\left(1 + \left(\frac{T}{T_0}\right)^{1,8}\right)}}}{\left(1 + \frac{\Delta T}{T} u_{H_0}\right) + \frac{w'}{\sqrt{\ln\left(1 + \frac{w'}{u_{H_0}}\right)}}} \quad (1)$$

где $u_H \sim p^{-0,2}$; $w' \sim p^{0,3}$; $l_0 \sim p^{-0,5}$.

При малых w'/u_H эта зависимость сводится к виду $u_T \approx T^{0,8}$.

Приведенное выражение можно использовать для приблизительных расчетов камеры сгорания.

Литература

1. Ильяшенко С. М., Талантов А. В. Теория и расчет прямооточных камер сгорания, 1964.

*И. Л. Ионатамишвили, студ. ;
рук. А. А. Тараторин, к. т. н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

УСТАНОВЛЕНИЕ ГРАНИЦ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ ТЭЦ В УСЛОВИЯХ РЕКОНСТРУКЦИИ

С увеличением потребности населения городов в электрической и тепловой энергии на генерирующих предприятиях проводят реконструкцию для увеличения установленной мощности. Одним из вариантов является расширение за счет внедрения газотурбинных установок (ГТУ). Вместе с тем возникает проблема, связанная с увеличением шумового излучения, что характерно для ТЭЦ, находящихся в черте населенных пунктов. Воздействие шума неблагоприятно влияет на нервную систему, способствует развитию утомления, изменениям в сердечно-сосудистой системе и появлению шумовой патологии, среди многообразных проявлений которой ведущим клиническим признаком является медленно прогрессирующее снижение слуха [1].

В соответствии с требованиями [2] проектирование санитарно-защитных зон (СЗЗ) осуществляется при разработке градостроительной документации, проектов строительства, реконструкции и эксплуатации промышленных объектов. Основным фактором, определяющим размер СЗЗ ТЭЦ, является акустическое воздействие на окружающую среду. Источниками постоянного шума на ТЭЦ являются тягодутьевые машины, газораспределительные пункты, трансформаторы, градирни, места забора воздуха из атмосферы, устья дымовых труб и, особенно, периодические выбросы пара и газов в атмосферу. В данной работе рассчитываются уровни шума от оборудования ТЭЦ до и после внедрения ГТУ и предлагаются мероприятия для его снижения.

Наиболее эффективно комплексное применение мер по шумоглушению [3], которое включает в себя использование как соответствующей ориентации источников шума, расположения их на территории энергетических объектов, так и использование глушителей шума, акустических экранов и осуществление других мероприятий.

Литература

1. **Тупов В. Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
2. **СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.** Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. — М.: Альвис, 2014.
3. **Тупов В. Б.** Проблемы снижения шума от энергетического оборудования // Защита от повышенного шума и вибрации: сборник докладов Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием, 21–23 марта 2017 г. СПб / Под ред. Н. И. Иванова, С. 100–109.

*М. А. Хайрутдинов, А. И. Файзуллина, студенты;
рук. О. С. Попкова, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

ЗАВИСИМОСТЬ СПЕКТРА РАСПЫЛИВАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ФОРСУНКИ ОТ СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА КАПЕЛЬ

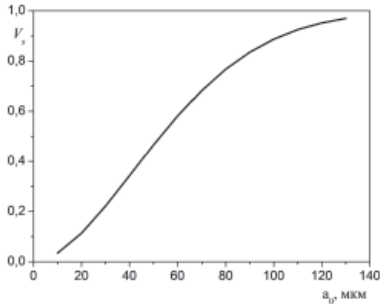


Рис. 1. Спектр распыливания

Целью работы является построение расчетной кривой спектра распыливания в зависимости от среднего диаметра капель.

Для проведения расчетов был выбран авиационный керосин ТС-1. После распада струи отдельные капли движутся по определенным траекториям. При движении капель в потоке воздуха они нагреваются и испаряются. Рассмотрим капли с определенными диаметрами в интервале от 20 до 120 мкм.

По литературным данным характеристики распыливания зависят от скорости жидкости относительно воздуха. В случае центробежной форсунки, расположенной против потока ее можно определить по геометрической разности векторов скоростей истечения и набегающего потока.

Для расчета спектра распыливания определялись параметры топливоподачи, коэффициент расхода форсунки, толщина жидкой пленки, а также скорости истечения жидкости.

По результатам расчета можно сделать вывод о доле капель определенного диаметра, получающихся в результате распыливания топлива форсункой при определенных параметрах центробежной форсунки, расположенной в прямолинейной трубе с равномерным потоком воздуха.

По результатам расчетов, получили, что доля капель рассматриваемого размера, получаемых в результате распыливания топлива форсункой, в промежутке до минимального и более максимального размера капель составляет примерно 3% от общего количества капель, поэтому для проведения дальнейших расчетов можно ограничиться интервалом от 20 до 120 мкм без значительной потери точности вычислений.

Литература

1. Лукачев С. В., Диденко А. А., Зубрилин И. А, Мишенков С. Ю., Некрасова С. О. Математические модели и расчет распределения топлива в турбулентном потоке воздуха за центробежной форсункой, 2011.

Н. Р. Хуснетдинов, студ.;
рук. П. В. Росляков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РЕКОНСТРУКЦИЯ КОТЛА ТПЕ-430 С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ NO_x

Чистота атмосферного воздуха является важнейшим компонентом, определяющим воздействие окружающей среды на человека. В крупных промышленных центрах в связи с ростом источников загрязнения, таких как автотранспорт, промышленные предприятия и др., часто наблюдается существенное превышение содержания вредных веществ в воздухе над санитарными нормами. Одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха, особенно оксидами азота, являются тепловые электрические станции, сжигающие органическое топливо.

В настоящей работе предложены и обоснованы решения, позволяющие снизить выбросы оксидов азота на котле ТПЕ-430 до нормативных значений (125 мг/м³ для природного газа и 250 мг/м³ для мазута), а именно — замена горелочных устройств на низкотоксичные; организация двухступенчатого сжигания [1]; введение газов рециркуляции впод топки, что позволяет снизить выход термических оксидов азота и дает возможность регулировать температуру перегретого пара при изменении нагрузки. Проведено исследование влияния различных режимных и конструктивных мероприятий на выбросы оксидов азота.

В результате проведенных теплотехнических испытаний на котле ТПЕ-430 было установлено, что котел не соответствует нормативным требованиям по содержанию NO_x в уходящих газах [2]. В этой связи был проведен тепловой расчет котла в программе BoilerDesigner с учетом предложенных мероприятий по снижению концентрации оксидов азота. Кроме того проводились расчеты вредных примесей по методикам СО 153-34.02.304-2003 и РД.34.02.304-95 и в программе ENPOL. Данные расчеты показали, что после внедрения природоохранных мероприятий на котле ТПЕ-430 будут достигнуты нормативные значения выбросов NO_x в атмосферу.

Результатом проведенных исследований и пуско-наладочных работ будет модернизированный котел ТПЕ-430, установленный на Астраханской ТЭЦ-2. Снижение выбросов NO_x приведет к экономии вследствие отсутствия выплаты штрафов за выбросы.

Литература

1. **Росляков П. В.** Методы защиты окружающей среды. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
2. **ГОСТ Р 50831-95.** Установки котельные. Тепломеханическая часть. Общие технические требования.

*А. Д. ХВОСТОВ, студент;
рук. Б. Л. ШЕЛЫГИН, к.т.н., профессор. (ИГЭУ, Иваново)*

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА П-88 ПРИ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА ПГУ-325

Объектом исследования данной работы является котел-утилизатор (КУ) марки «П-88», входящий в состав блока ПГУ-325. Характеристики его работы определяются расходом топлива V_T в камеру сгорания. Исследование проводилось при теплоте сгорания природного газа 7959 ккал/м^3 , повышенных значениях электрической мощности $N_э = 110 \div 133 \text{ МВт}$ и изменении температуры наружного воздуха в пределах $t_n = -30 \div 30^\circ\text{C}$.

Для расчета величины V_T необходимо знать зависимость значения КПД ГТУ $\eta_{гту}$ от определяющих характеристик $N_э$ и t_n . Ее зависимость от $N_э$ и t_n представим в виде:

$$\eta_{гту} = A_t + C_t \cdot (N_э - 110)^n, \quad (2)$$

где показатель степени $n = 0,54$; A_t, C_t — коэффициенты, зависящие от t_n , которые определяются по формулам:

$$A_t = 0,363 - 12,48 \cdot 10^{-6} \cdot (t_n + 30)^{1,9} \quad (3)$$

$$C_t = 0,000555 - 0,0519 \cdot 10^{-6} \cdot (t_n + 30)^{2,03} \quad (4)$$

Согласно полученному материалу, топливная характеристика блока ПГУ-325 применительно к высоким нагрузкам $N_э = 110 \div 133 \text{ МВт}$ для диапазона температур $t_n = -30 \div 30^\circ\text{C}$ представляется в виде, $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$V_m = E_t + F_t \cdot (N_э - 110)^k, \quad (5)$$

где показатель степени $k = 1,02$. Коэффициенты, входящие в уравнение (5), рассчитываются на основании зависимостей:

$$E_t = 30545 + 0,51 \cdot 10^{-6} \cdot (t_n + 30)^{2,1} \quad (6)$$

$$F_t = 245,06 + 0,00693 \cdot (t_n + 30)^{2,003} \quad (7)$$

Результаты работы позволяют в зависимости от повышенной нагрузки и климатических условий определить КПД газовой турбины и расход топлива в камеру сгорания ГТЭ-110. Полученные результаты будут применены кафедрой ТЭС при изучении студентами особенностей эксплуатации КУ энергоустановок.

С. А. Левенок, студ.;
рук. А. А. Тараторин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ ШУМА ВЕНТИЛЯТОРНОЙ ГРАДИРНИ

В связи с ростом потребления тепловой и электрической энергии на действующих теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) при модернизации в качестве новых генерирующих мощностей устанавливаются теплофикационные парогазовые установки (ПГУ), обладающие более высокими экономическими и экологическими показателями по сравнению с традиционными паротурбинными установками. Чаще всего в системе оборотного водоснабжения ПГУ для охлаждения циркуляционной воды используются вентиляторные градирни с принудительной тягой — испарительные или сухие, имеющие своим преимуществом компактность в первом случае и отсутствие прямых потерь охлаждающей воды с паром уноса — во втором. Но вместе с тем вентиляторы градирен являются мощными источниками шума для окружающего ТЭЦ района.

В настоящей работе представляются результаты акустического расчета, выполненного в соответствии с требованиями [1], с определением уровней шума в точках на границе санитарно-защитной зоны и жилой застройки на уровне первого и последнего этажей домов от сухой вентиляторной градирни блока ПГУ номинальной электрической мощностью 220 МВт, имеющей 45 вентиляторов. Результаты расчета показывают, что при отсутствии специальных мероприятий для снижения шума превышение составляет 15–20 дБА по уровню звука над нормативом [2].

По результатам акустического расчета с учетом рекомендаций, приведенных в [3], анализируются возможные варианты для снижения шумового воздействия рассматриваемой вентиляторной градирни: архитектурно-планировочные решения, установка акустических экранов (групповых или индивидуальных), установка глушителей и замена вентиляторов на малошумные. Указанные мероприятия имеют достоинства и недостатки, поэтому при их выборе следует руководствоваться результатами технико-экономического расчета.

Литература

1. **СП 51.13330.2011.** Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. М.: Минрегионразвития, 2011. — 41 с.
2. **СН 2.2.4/2.1.8.562-96.** Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. М.: Минздрав России, 1996. — 10 с.
3. **Тупов В. Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. М.: МЭИ, 2012. — 284 с.

А. А. Лисицын, студент;
рук. В. С. Киричков, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ АЭРОДИНАМИКИ ТОПОЧНОЙ КАМЕРЫ КОТЛА ТПП-210 А С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ*

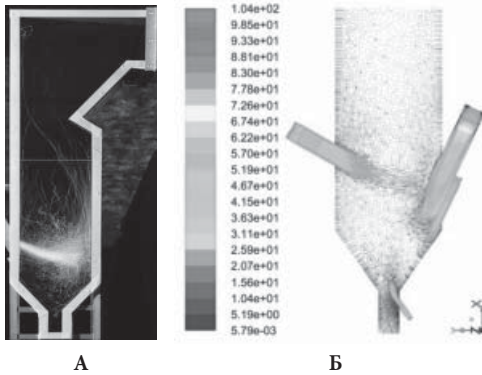


Рис. 1. Результаты искровых продувок на физической модели топки (А) и математического моделирования топочной аэродинамики в среде ANSYS (Б)

ние газов и твердых частиц, теплообмен между ними и поверхностями нагрева, процесс нагрева твердых частиц топлива, выход летучих, горение летучих и коксового остатка. Поэтому математическая модель топки включает в себя дифференциальные уравнения сохранения (массы, энергии, количества движения), уравнения турбулентности, диффузии, переноса лучистой энергии, уравнения состояния, уравнения дискретной фазы. С помощью программного комплекса ANSYS Fluent для модели топки котельного агрегата ТПП-210 А были просчитаны температурные поля и топочная аэродинамика. Данные, полученные в результате исследований на физической модели топки котла (рис. 1, а), позже были подтверждены при математическом моделировании процессов (рис. 1, б).

**Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 16-19-10463 от 12 мая 2016 г.).*

Литература

1. Архипов А. М., Липов Ю. М., Прохоров В. Б. Использование прямооточных горелок и сопел в топках котлов: инновационный опыт МЭИ. М.: Издательство МЭИ, 2013.

А. В. Лукьянов, студ.; рук. К. А. Плешанов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПЫЛЕСИСТЕМЫ ПАРОВОГО КОТЛА Е-160–9,8–540 ПРИ ПОДГОТОВКЕ К СЖИГАНИЮ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА

Характеристики фрезерного торфа в зависимости от месторождения и окружающих условий могут существенно изменяться. [1] Анализ работы различных торфяных станций показывает, что надежность и экономичность работы котельной установки, наряду с конструктивными характеристиками топочного устройства и режимными условиями эксплуатации в значительной степени зависит от качества торфа. В тоже время, по своим физико-химическим и теплотехническим характеристикам торф, наиболее не стабильное и не устойчивое топливо, сжигаемое на электростанциях. Его сжигание сопряжено со значительными трудностями, обусловленными широкими пределами колебаний свойств органической и минеральной части:

- теплотой сгорания $Q_{\text{H}}^{\text{P}}=1850\sim 1440$ ккал/кг;
- зольностью $A^{\text{P}}=4.1\sim 12.7\%$;
- влажностью $W^{\text{P}}=32\sim 54.5\%$;
- температурой начала деформации $t_1=1000\sim 1500^{\circ}\text{C}$;
- температурой полусферы $t_2=1090\sim 1500^{\circ}\text{C}$;
- температурой жидкого состояния $t_1=1100\sim 1500^{\circ}\text{C}$;
- содержание оксида кремния в золе $\text{SiO}=70.5\sim 48.9\%$;

Влажность топлива является очень важным параметром. Она влияет на размол топлива, объем отработанного сушильного агента, вентиляцию мельницы. В работе было поведено исследование допустимого диапазона изменения влажности топлива, при котором может быть осуществлено сжигание топлива и обеспечена надежная и экономичная работа котельной установки, в частности:

- статей теплового баланса;
- условий вентиляции мельницы;
- условий сепарации торфа.

Расчеты котла и пылесистемы произведены в соответствии с [2] и [3].

Литература

1. Исследование сжигания фрезерного торфа в системе плоско-параллельных струй. Деев Л. В.: М.1970.
2. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. Под редакцией Кузнецова Н. В. И др. — М.: Энергия, 1973.
3. Расчет и проектирование пылеприготовительных установок котельных агрегатов. Нормативный метод. — Л.: ЦКТИ, 1971.

В. В. Любчик, студ.; рук. В. Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ ШУМА ОТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ГТУ

В современной энергетике к вопросам безопасности и защиты окружающей среды, а также здоровья человека уделяется повышенное внимание. Одним из наиболее неблагоприятных факторов, характерных для тепловых электрических станций, является шум, поэтому снижение негативного шумового воздействия, оказываемого при эксплуатации энергетического оборудования на значительные группы населения-важнейшая задача в комплексе экологических проблем.

В отечественном энергетическом комплексе широкое применение получили газотурбинные установки (ГТУ). Внедрение этих установок обусловлено экономической эффективностью, надежностью и простотой в эксплуатации, что так же делает использование ГТУ перспективным для покрытия не только пиковых нагрузок [1]. Однако негативным экологическим фактором, характерным для ГТУ, является сильное шумовое излучение при штатной эксплуатации [1].

Для снижения шумового излучения были выполнены акустические расчеты от нескольких типов ГТУ, которые наиболее широко используются на ТЭЦ. Определено требуемое снижение шума от воздухозаборов и выхлопных трактов ГТУ. Рассмотрены возможные конструкции глушителей. При этом учтено, что, кроме высокой акустической эффективности, устройства по шумоглушению должны обладать умеренным аэродинамическим сопротивлением. Для выхлопного тракта используют глушители, которые являются, как правило, различными комбинациями цилиндрических и кулисных глушителей. Для газовых турбин, выхлопные тракты которых подсоединены к одной дымовой трубе, целесообразно устанавливать один глушитель на все газовые турбины в цокольной части дымовой трубы [2]. Так же для снижения общего шума от ГТУ корпус агрегата накрывают защитным кожухом.

Литература

1. **Тупов В. Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
2. **Тупов В. Б.** Проблемы снижения шума от энергетического оборудования // Защита от повышенного шума и вибрации: сборник докладов Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием, 21–23 марта 2017 г. СПб / Под ред. Н. И. Иванова, С. 100–109

А. А. Масленков, асп.;
рук. В. И. Кормилицын, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ БИОМАССЫ И ТОРФА

Быстрый рост мировой экономики, бурное развитие промышленности и сельского хозяйства, а также постоянное повышение качества жизни человека сопровождается активным потреблением энергетических ресурсов.

Увеличение доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергобалансе (в том числе альтернативных видов сжигаемого топлива — биомассы, торфа и др.) позволит существенно снизить нагрузку на топливное хозяйство, обеспечить повышение экономической эффективности топливно-энергетического комплекса и сократить негативное влияние на окружающую среду. Государственная политика в сфере использования местных видов топлива на период до 2030 года предусматривает восстановление и развитие производств местных источников топлива, а также создание тепловых электростанций и котельных, работающих на этих источниках (торф, биомасса, отходы лесной и деревообрабатывающей промышленности) [1].

В ходе исследований проведен анализ мирового и российского топливно-энергетического комплекса, рассмотрены вопросы подготовки и использования альтернативных видов топлива на основе биомассы и торфа для энергетических целей, проведена оценка технико-экономических и экологических показателей имеющихся в настоящее время технологий.

Предварительная подготовка торфа и биомассы (например, приготовление топливных гранул) позволяет повысить технико-экономические и экологические показатели в сравнении с показателями при использовании традиционных видов топлива [2].

Можно заключить, что имеющиеся в настоящее время технологии топливо-подготовки, основанные на использовании в качестве топлива торф и биомассу, позволяют обеспечивать достаточный объем переработки сырья для промышленного использования с соблюдением высоких экологических и технико-экономических показателей.

Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года / Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.
2. **Кормилицын В. И.** Приготовление и сжигание альтернативного топлива / Кормилицын В. И., Горр Д. А., Догадин Г. С., Мирзабекян Г. З., Хренов С. И. // Вестник МЭИ. — 2012. — № 3. — С. 5–8.

*К. М. Мирсалихов, студент;
рук. А. М. Грибков, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ГОРЕНИЯ НА ОГНЕВОМ СТЕНДЕ КАФЕДРЫ ТЭС КГЭУ

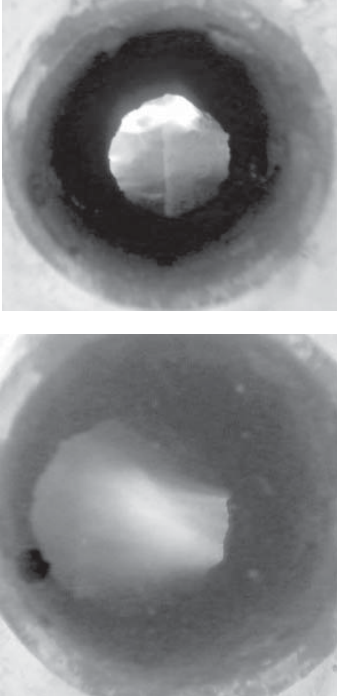


Рис. 1. Факел при различных режимах горения

На кафедре ТЭС Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ) установлен огневой стенд, позволяющий получать продукты сгорания при различных режимах работы газовой горелки, состав которых затем анализируется.

Огневой стенд представляет собой газоплотную камеру сгорания с размерами 1840×530×530 мм, снабженную газовой горелкой со смесеобразованием на поперечных струях тепловой мощностью до 7 кВт, в которой сжигается пропан, подаваемый из газового баллона. Регулирование расхода газа осуществляется с помощью дроссельного клапана. Воздух подается к горелке с помощью побудителя расхода воздуха, а режим его работы регулируется автотрансформатором. В камере сгорания предусмотрены гляделки для наблюдения за факелом. Факел зажигается с помощью огневого запальника. Для замера расхода воздуха и газа установлены жидкостные дифманометры. Замер температуры уходящих газов осуществляется с помощью термопары ТХК-0179. Для анализа дымовых газов используется измерительная система Testo-350XL.

На данном стенде можно организовать режимы горения топлива с перепадом давления воздуха на измерительной шайбе от 10 до 100 мм вод. ст. и перепадом давления газа от 20 до 60 мм вод. ст.

При различных режимах горения цвет факела меняется от ярко-желтого до синего, рис. 1. Концентрация оксидов азота NO_x изменяется от 10 до 30 ppm, а оксид углерода CO от 3 до 40 ppm.

Стенд используется в учебном процессе и по программе курсов повышения квалификации.

В. М. Монастырский, студ.;
рук. А. А. Тараторин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ ШУМА ОСЕВЫХ ДЫМОСОСОВ

В современном обществе большая часть населения крупных городов проживает в условиях акустического дискомфорта. Превышения шума фиксируются во время трудовой деятельности на рабочих местах, а также в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки. Развитие городов сопровождается ростом потребления тепловой и электрической энергии. При расширении производств необходимо уделять особое внимание борьбе с неблагоприятными факторами физического воздействия на человека, основным из которых является шум. В данной работе определяется шумовое воздействие от осевых дымососов ДОД-43 при расширении ТЭС с установкой котлов ТГМП-204 на сверхкритические параметры пара. Особенностью шума осевых дымососов является наличие тональных составляющих в спектре, что приводит к ужесточению санитарных норм на 5 дБ.

В рассматриваемой расчетной модели территория жилой застройки прилегает к территории ТЭЦ. Целью акустических расчетов является сравнение воздействия ТЭЦ по фактору шума до и после установки котлов с осевыми дымососами на границе санитарно-защитной зоны. Расчет распространения шума от дымовой трубы, осуществлявшийся по [1, 2], показал превышение на 20–30 дБА без мероприятий для снижения шума.

Для снижения шума осевых дымососов предлагается установка пластинчатых глушителей в газовых трактах котлов, конструкция которых должна соответствовать следующим требованиям: минимальное или нулевое аэродинамическое сопротивление, затраты на изготовление глушителя должны быть наименьшими при наибольшей акустической эффективности. На основе рекомендаций [3] рассматриваются различные варианты пластинчатых глушителей для установки в газовом тракте за осевыми дымососами и предлагается установка двухступенчатого глушителя с различной толщиной пластин, который позволит снизить уровни шума до требований санитарных нормативов.

Литература

1. **ГОСТ 31295.2-2005.** Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета. М.: Стандартинформ, 2006.
2. Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду / В.Б. Тупов, / М: Издательство МЭИ. 2012.
3. **Тупов Б.В.** Разработка методов снижения шумового загрязнения окружающей среды газовоздушными трактами тягодутьевых машин ТЭС: дис. канд. техн. наук: 05.14.14 / Тупов Борис Владимирович. — М., 2015. — 110 с.

*А. Р. Надырова докт., Т. Н. Умыржан студ., М. М. Хабиев студ.;
рук-ли: О. А. Степанова, к.т.н., доцент
(ГУ имени Шакарима города Семей, г. Семей)
С. Л. Елистратов, д.т.н., профессор, (НГТУ, г. Новосибирск)*

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

Ежегодно во всем мире увеличивается энергопотребление. Основную долю в сфере энергетики Республики Казахстан занимают ТЭЦ и районные котельные, относящиеся к источникам тепловых выбросов. ТЭЦ и котельные, являясь стационарными источниками, способствуют не только поддержанию постоянных загрязнений в атмосфере, но и к их увеличению. В связи с этим, актуально изучение процессов, происходящих при работе энергетического оборудования. Ускорению и упрощению исследований способствует компьютерное моделирование [1].

Работа посвящена исследованию процессов теплообмена хвостовых поверхностей нагрева котельного агрегата с целью выявления оптимальных характеристик, обеспечивающих энергоэффективность и экологичность работы оборудования.

Проведено термографическое обследование загрязненных и очищенных поверхностей нагрева опускного газохода котлоагрегата КВ-Т-116,3-150. По полученным результатам в программном комплексе ANSYS Fluent была построена двумерная модель первого и второго ряда трубок ВЗП, исследовано распределение температур и скоростей нагреваемого воздуха при фактической работе котла в зависимости от его теплопроизводительности. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что своевременная качественная очистка поверхностей нагрева приводит к уменьшению потерь теплоты с уходящими дымовыми газами и повышению КПД котельного агрегата. Исследование процессов теплообмена позволит эффективно проводить процесс сжигания и предотвращать перерасход топлива, контролировать стоимость котельного агрегата путем подбора металлоемкости хвостовой части.

Литература

1. **Фомичев А. С., Корецкий Д. А., Заворин А. С., Коняшкин В. Ф., Харченко В. В.** Применение программных комплексов ANSYS, Inc. в области разработки новых технологий для решения задач угольной энергетики. Горение твердого топлива: Тезисы докладов 8 Всероссийской конференции (с международным участием), Новосибирск, 13–16 нояб, 2012. Новосибирск. 2012, стр. 100.1-100.6.

Э. Н. Салихова, студ.; рук. В. Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СОЗДАНИЕ БЕСШУМНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА НА ПРИМЕРЕ ТЭЦ В ЧЕРТЕ ГОРОДА

Повышенное шумовое излучение является проблемой, с которой сталкивается большое количество энергетических предприятий, особенно это характерно для ТЭЦ в черте города. Актуальность проблемы обусловлена тем, что ТЭЦ находятся в городах рядом с жилыми районами на очень близких расстояниях [1]. Основными источниками шума от ТЭЦ являются устья дымовых труб, воздухозаборы дутьевых вентиляторов, корпуса тягодутьевого оборудования, трансформаторы, градирни, помещения котельного, турбинного цехов и подготовки топлива к сжиганию (ГРП). Наиболее сильным источником шума являются выбросы пара в атмосферу. Проблема «бесшумной» ТЭЦ стоит еще более остро, если здесь установлены ГТУ.

Количество источников шума для крупных ТЭЦ доходит до сотен единиц. Шум от источников, располагаемых внутри помещений (турбины, котлы, насосы и др.), во многом будет определяться звукоизолирующими свойствами стен здания. Места размещения источников на территории, и на какой отметке они установлены, также влияют на уровни шума в окружающем районе. Показано, что трехмерная математическая модель энергетического объекта наиболее полно представляет уровни звукового давления от ТЭЦ в черте города, по сравнению с двухмерной моделью [2]. При этом уровни звукового давления на расстоянии от ТЭЦ зависят от его типа, режима работы оборудования, фактора направленности, ориентации по отношению к жилому району и ряда других факторов.

Важным моментом по созданию малошумного энергетического объекта, как показано на примере ТЭЦ, является комплексное применение мер по шумоглушению [3], которое включает в себя использование как соответствующей ориентации источников шума, расположения их на территории энергетических объектов, так и использование глушителей шума, акустических экранов и осуществление других мероприятий.

Литература

1. **Тупов В. Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
2. **Тупов V., Тупов В.** Solutions to creating a low-noise power facility // 24th International Congress on Sound and Vibration, London, UK, July 23–27, 2017
3. **Тупов В. Б.** Проблемы снижения шума от энергетического оборудования // Защита от повышенного шума и вибрации: сборник докладов Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием, 21–23 марта 2017 г. СПб / Под ред. Н. И. Иванова, С. 100–109

*В. С. Скворцов, аспирант;
рук. В. Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)*

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ШУМА ОТ ГРП

Для подачи на ТЭС и ТЭЦ природного газа с определенным давлением, степенью очистки и одоризации от магистральных газопроводов, действуют газораспределительные пункты (ГРП). На большинстве ГРП уровни шума превышают предельно допустимые значения и достигают значения более 100 дБА [1].

Такой высокий уровень шума обуславливается срабатыванием сверхкритического перепада давления на регулирующем клапане (с 1...1,2 МПа до 0,05...0,12 МПа). Таким образом, источником шума является процесс дросселирования газа в регулирующем клапане и излучения шума от него по газопроводу после ГРП.

Существенный вклад в снижение шума вносит конструктивное усовершенствование геометрических характеристик дроссельной и проточной частей клапана, обеспечивающих уменьшение турбулизации потока в заданных пределах изменения расхода и давления среды.

Была создана 3D математическая модель распространения шума от ГРП и газопроводов после него в окружающей среде. Построена карта распределения изолиний уровней звукового давления в непосредственной близости от ГРП и территории ГРЭС. Модель была создана в программной среде Predictor для численного моделирования распространения шума. Было проведено сравнение результатов численных расчетов с данными, полученным в ходе экспериментальных измерений.

Показано на отличие результатов экспериментальных и расчетных величин. Сделан вывод, что газопроводы после ГРП нельзя рассматривать как линейный источник шума.

Предложено внести изменения в модель, позволяющие учитывать нелинейный характер излучения шума от газопроводов, вызванный процессом затухания звуковой мощности по их длине.

Литература

1. **Тупов В. Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду — М.: Издательство МЭИ. 2012 г.
2. **Яговкин Н. Г.** Снижение шума на газораспределительных станциях магистральных газопроводов. Вектор науки ТГУ. 2013. № 3
3. **Тупов В. Б.** Комплекс мероприятий по снижению шума от ТЭС // Электрические станции. 2013. № 3.

М. М. Соловьев, студ.;
рук. Б. Л. Шелыгин, к.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ «ГТУ6 П-П102» ПРИ МАКСИМАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ И УТИЛИЗАЦИОННОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

Расчетное исследование проводилось при значениях электрической мощности $N_э = 6 \div 7$ МВт и температурах наружного воздуха $t_n = -30 \div 30^\circ\text{C}$.

На основании экспериментальных данных ОАО ВТИ для анализа принята зависимость КПД ГТУ $\eta_{ГТУ}$ от величины $N_э$:

$$\eta_{ГТУ} = A_t + C_t \cdot (N_э - 6)^{0,74}, \quad (1)$$

где A_t , C_t — коэффициенты, соответствующие определенной температуре t_n .
 Значения коэффициента C_t определялись согласно формуле:

$$C_t = (\eta_{ГТУ}^{он} - A_t) / (N_э - 6)^n, \quad (2)$$

где $\eta_{ГТУ}^{он}$ — опытные величины КПД ГТУ.

Значения A_t , C_t и n определялись при постоянных значениях $N_э = 6, 0; 6, 5$ и 7 МВт и соответствующих значениях $\eta_{ГТУ}$ по формулам:

$$A_t = 0,262 - 12 \cdot 10^{-6} \cdot (t_n + 30)^{1,8}, \quad (3)$$

$$C_t = 0,005 - 0,04 \cdot 10^{-6} \cdot (t_n + 30)^3. \quad (4)$$

По расчетным значениям $\eta_{ГТУ}$ для природного газа с теплотой сгорания 8539 ккал/нм³ в зависимости от величины $N_э$ топливная характеристика определяется по формуле, м³/с:

$$B_{сек} = N_э / 35,778 \cdot \eta_{ГТУ}. \quad (5)$$

Часовой расход топлива, м³/ч:

$$B_{час} = B_{час}^0 + K_2 \cdot (N_э - 6)^{1,026}. \quad (6)$$

Коэффициенты, входящие в формулу (6) определяются с использованием зависимостей:

$$B_{час}^0 = 2304,26 + 110,63 \cdot 10^{-6} \cdot (t_n + 30)^{1,8}, \quad (7)$$

$$K_2 = (B_T - 365,77) / (N_э - 6)^{0,65}. \quad (8)$$

Полученные результаты позволяют рассчитать расход топлива в КС ГТУ 6 П при работе КУ «П-102» в утилизационном режиме.

*Д. В. Степанишин, аспирант;
рук. С. Л. Чернов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ ПАРОВОЙ ПАНЕЛЬНОЙ СУШИЛКИ В СХЕМУ ПЫЛЕУГОЛЬНОЙ ТЭС

Надежность и экономичность работы пылеугольных ТЭС напрямую зависят от качества используемого топлива. Влажный, зольный уголь создает значительные трудности на всех этапах его использования: при разгрузке, складировании, продвижении по топливоподаче, измельчении, сжигании и очистки продуктов сгорания [1]. Такое топливо имеет низкую теплоту сгорания и ухудшенные сыпучие свойства. Это приводит к тому, что увеличиваются объемы перерабатываемого угля при одной и той же выработке электроэнергии, влияет на надежность работы всех механизмов разгрузки, топливоподачи, измельчения, снижая их производительность и работоспособность. Замазываются ленты, барабаны, ролики транспортеров, образуются своды в бункерах, забиваются течи, снижается пропускная способность дробилок и мельниц, ухудшается процесс горения в топке, возрастают потери тепла с уходящими газами из котла.

Лучшим способом использования таких топлив является их обогащение у мест добычи, то есть сушка, обеззоливание, повышение теплоты сгорания, измельчение до требуемой кондиции, возможно грануляция и брикетирование. При этом получаем выгоды на перевозках, при разгрузке, измельчении (если оно потребуется), сжигании и очистке продуктов сгорания, существенно сокращаются капитальные и эксплуатационные затраты на ТЭС.

Проблема эта существует многие годы, она требует координации деятельности сразу нескольких ведущих отраслей: угледобывающей, вагоностроительной, энергетической. Попытки решить ее в СССР при максимальной централизации власти так и не увенчались успехом. В новых экономических условиях маловероятно ожидать в ближайшее время изменений в этой области. Поэтому, получая небогатое топливо, электростанциям придется рассчитывать только на свои силы и на месте, применяя современные методы разгрузки и подготовки, обогащать его с помощью сушки. При таком исходе событий наиболее эффективным элементом системы топливоприготовления, предназначенным для сушки угля, является паровая панельная сушилка, разработанная специалистами ВТИ. Определено, что внедрением сушилки возможно решить все вышеперечисленные проблемы, а также получить экономический эффект.

Литература

1. **Лебедев П. Д.** Расчет и проектирование сушильных установок. М.: Государственное энергетическое издательство, 1963.

*Д. А. Титов, аспирант (СПбПУ, Санкт-Петербург);
рук. К. А. Григорьев, д.т.н., доц. (НПО ЦКТИ, Санкт-Петербург)*

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА ПЫЛИ

Разработка отечественного динамического сепаратора для систем пылеприготовления ТЭС позволяет восполнить пробел в технике получения пыли тонкого помола и освоения ступенчатых технологий сжигания твердого топлива в российской энергетике.

Для численного исследования конструктивных особенностей, гидродинамики

и процессов сепарации топлива разработана расчетная модель динамического сепаратора на основе программного продукта ANSYS-Fluent. Верификация модели на экспериментальных данных, полученных сотрудниками ОАО «ВТИ» при испытании пилотного образца сепаратора на угольном котле ТПЕ-223 энергоблока 225 МВт Черепетской ГРЭС [1], показала, что модель адекватно описывает гидродинамику двухфазного потока в динамическом сепараторе. Расхождение расчета с экспериментом находится в пределах погрешности опыта.

Вычислительный эксперимент позволил выявить особенности гидродинамики аппарата (рис. 1) и показал, что динамический режим по сравнению со статическим режимом улучшает структуру дискретной фазы на выходе из сепаратора (снижает максимальный размер частиц δ_{\max} и приближает коэффициент полидисперсности пыли n к 1) и позволяет снизить значения контрольного показателя качества пыли R_{90} с 46 до 9,2%, что удовлетворяет требованиям.

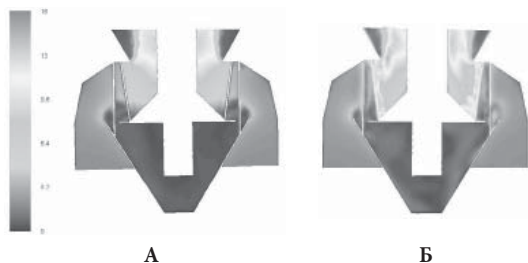


Рис. 1. Распределение результирующей скорости газовой фазы в вертикальном сечении сепаратора в статическом (А) и динамическом (Б) режимах

Литература

1. Штегман, А. В. Получение тонкой пыли с помощью мельницы с динамическим сепаратором / А. В. Штегман, И. А. Рыжий, Д. В. Сосин, Е. А. Фоменко // Электрические станции. 2017. № 8. — С. 29–35.

Д. И. Захарова, студ.; рук. В. Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ШУМА ОТ ГРП

На сегодняшний день, большинство тепловых электрических станций из всех возможных видов органического топлива используют природный газ. Газ поступает на ТЭС через газораспределительные пункты (ГРП), количество которых определяется мощностью ТЭС. Из главной магистрали природный газ поступает с давлением 1–1,2 МПа, в ГРП эта величина уменьшается до необходимого значения в 0,05–1,2 МПа, в процессе дросселирования, который сопровождается сильным шумообразованием [1].

Источниками шума ГРП являются регуляторы давления и газопроводы после него. Шум от ГРП превышает допустимые нормы, как для территории ТЭС, так и в окружающем районе. Уровень звука около ГРП достигает 100–105 дБА [2].

Наиболее простым способом снизить шум от ГРП является расположение ГРП на достаточном расстоянии от жилого района. Выполнены комплексные акустические расчеты от ГРП с разным расходом природного газа на различных расстояниях от ТЭС по методике ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-261:96).

Определены расстояния, когда уровни шума от ГРП не превышают допустимых норм для территории жилой застройки для различной мощности ТЭС. Показано, что уровни шума внутри помещения и около ГРП зависят от фирм производителей регуляторов давления.

Проанализировано влияние положения ГРП на уровни шума в окружающем районе. Показано влияние расположения ГРП относительно жилого района и других зданий на территории ТЭС. Определены величины требуемого снижения шума от ГРП для расстояний 300 и 500 м от ТЭС.

Показано, что строительство жилых районов на достаточном расстоянии от ГРП позволяет полностью решить проблему снижения шума от них, без принятия специальных мер.

Литература

1. Тупов В.Б. Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
2. Тупов В.Б. Снижение шума от энергетического оборудования. М.: Издательство МЭИ, 2005.

*В. Э. Зинуров, В. А. Дмитриев, студенты;
рук. А. В. Дмитриев, д.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ С ГОРЕЛКОЙ POLIDORO PREMIX

В настоящее время широкое применение в мире нашли котлы малой мощности, которые отличаются простотой конструкции, обладают высокой степенью автоматизации технологического процесса и не требуют больших затрат при ремонте. На данный момент современная котельная техника малой мощности развивается в следующих направлениях: повышение энергетической эффективности путем снижения тепловых потерь и наиболее полного использования энергетического потенциала топлива, уменьшение габаритов котельного агрегата за счет интенсификации процесса сжигания топлива.

В данной работе исследовалось влияние геометрических размеров топки котла при процессе сгорания углеводородного топлива. Для исследования процесса сгорания углеводородного топлива принимался природный газ. Для расчета сгорания углеводородного топлива применен метод конечных элементов в программном комплексе ANSYS Fluent. В ходе исследования использовалась модель турбулентности — SST. Модель горения — Finite Rate Chemistry and Eddy Dissipation

Для численного расчета в программном комплексе ANSYS Fluent была построена 3D модель камеры сгорания. Принимались следующие геометрические размеры камеры сгорания: длина — 600 мм, диаметр в ходе исследований варьировался. Внутри камеры сгорания использовалось газогорелочное устройство фирмы Polidoro Premix диаметром 60 мм и длиной 600 мм.

На рис. 1 продемонстрирована зависимость суммарного теплового потока Q от диаметра камеры сгорания d . Исследовалась камера сгорания, выполненная из различных материалов: чугуна и листовой стали.

Численный расчет показал, что увеличение диаметра камеры сгорания котла отрицательно сказывается на эффективности работы котла, уменьшая его КПД. Камера сгорания, выполненная из чугуна более эффективна для использования.

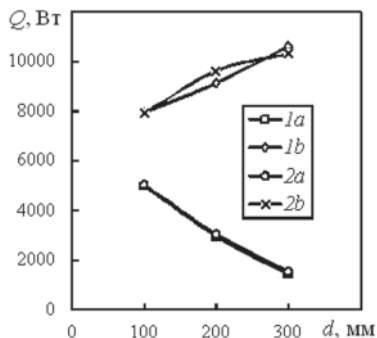


Рис. 1. Зависимость суммарного теплового потока Q от диаметра камеры сгорания d : 1a, 1b — значения на поверхности камеры сгорания, выполненного из чугуна и листовой стали соответственно; 2a, 2b — значения на выходе из камеры сгорания, выполненной из чугуна и листовой стали соответственно

Г. С. Зубян, студент; рук. К. А. Плешанов, к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРИБАРАБАННЫХ УСТРОЙСТВ КОТЛА ТГ-104 С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЕГО РАБОТЫ

Сургутская ГРЭС-1 заинтересована в продлении ресурса существующего оборудования как самого экономичного целесообразного способа выработки электрической и тепловой энергии.

На станции установлено 16 котлов ТГ-104. С 2000 г. на котлах ГРЭС участились повреждения испарительных поверхностей нагрева, как чистых, так и солевых отсеков. Почти половина повреждений приходится на котел ТГ-104 (станционный номер № 13).

В данной работе на котле Сургутской ГРЭС-1 были выполнены комплексные мероприятия, (осмотры топочных поверхностей нагрева, осмотры и ревизия внутрикотловых устройств, расчеты циркуляции и сепарационных устройств и др.), направленные на выяснение возможных причин повреждения и их устранения. Была проведена подготовка котла ТГ-104 (станционный номер № 13) к комплексным испытаниям испарительного контура, как котла имеющего наибольшую повреждаемость экранов топки из всех котлов ГРЭС.

Для приведения характеристик контура циркуляции к проектным и повышения надежности циркуляции в испарительных контурах была проведена химическая очистка опускных труб чистого и солевого отсеков и прочистка дырчатых листов пароприемного потолка. Проходные сечения входных патрубков циклонов были увеличены. Поврежденные трубы экранов топки и сепарационные устройства чистого отсека были заменены. После этого было проведено исследование работы котла и надежность работы его элементов в соответствии с опытом [1, 2].

Литература

1. Гидравлический расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / Под ред. В. А. Локшина и др. М.: Энергия, 1978, 256 с.
2. **Плешанов К. А., Стерхов К. В., Росляков П. В.** Устойчивость естественной циркуляции в контуре вертикального котла-утилизатора с горизонтальным расположением труб испарителя при пуске. Электрические станции. 2016. № 5. С. 21–26.

*Д. К. Шабанов, студент;
рук. В. Б. Тупов., д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

СНИЖЕНИЕ ШУМА ОТ КОРПУСОВ И ВОЗДУХОЗАБОРОВ ДУТЬЕВЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ ВДН-24

Одним из основных факторов неблагоприятного воздействия на людей является шум. На ТЭС имеется большое количество энергетического оборудования, которое является источником шумового загрязнения. Дутьевые вентиляторы (ДВ) являются одними из таких источников шума.

В работе рассмотрены возможные пути снижения шума от корпусов и воздухозаборов дутьевых вентиляторов ВДН-24. Для этой цели проведены акустические расчеты от разного количества дутьевых вентиляторов и ориентации относительно жилого района.

Определены величины требуемого снижения шума от корпусов и воздухозаборов дутьевых вентиляторов. Показано, что на величину требуемого снижения от корпусов сильно влияет расположение ДВ, а на величину требуемого снижения от воздухозаборов еще и показатель направленности. Рассмотрены возможные меры по снижению шума от корпуса и воздухозаборов.

Для снижения шума от корпусов ДВ рекомендуется звукоизоляция. Рассчитаны перспективные виды звукоизоляции для корпусов ДВ [1].

Для снижения шума воздухозаборов ДВ рассмотрены экраны и пластинчатые глушители [2, 3]. Приведены основные габаритные размеры экранов и глушителей для обеспечения ночных санитарных норм с учетом ужесточающей поправки на тональность шума для расстояния 500 м от станции.

Показано, как мощность станции и увеличение количества оборудования влияет на габаритные размеры глушителей. Показано, что при использовании экранов и пластинчатых глушителей необходимо учитывать их аэродинамическое сопротивление для предотвращения снижения паропроизводительности энергетических котлов.

Литература

1. **Тупов В. Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
2. **Тупов В. Б., Тупов Б. В.** Снижение шума тягодутьевых машин абсорбционными глушителями // Электрические станции, № 4, 2017, с. 56–60
3. **Тупов V., Тупов В.** Solutions to creating a low-noise power facility // 24th International Congress on Sound and Vibration, London, UK, July 23–27, 2017

Секция 45

ТЕХНОЛОГИЯ ВОДЫ И ТОПЛИВА НА ТЭС И АЭС

Председатель секции — к.т.н., доцент О.В. Егошина

Секретарь секции — ассистент В.О. Яровой

*Г. Р. Ахметвалиева, асп.; Ф. И. Бурганова, студ.;
рук. Э. Р. Зверева, д.т.н., проф. (КГЭУ, Казань)*

ИЗМЕНЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЯЖЕЛОГО КОТЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ПРИ ДОБАВЛЕНИИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И ОБЕЗВОЖЕННОГО КАРБОНАТНОГО ШЛАМА

Мазут продолжает играть важную роль в топливно-энергетическом балансе нашей страны. В последние годы наблюдается устойчивая тенденция снижения качества топлива, обусловленная увеличением в топливе доли тяжелых остаточных фракций за счет более глубокой переработки нефти. Поэтому вопросы повышения качества топочного мазута и эффективности его сжигания приобретают особую актуальность [1].

Проведенные нами ранее опыты по исследованию реологических свойств мазута с добавлением углеродных нанотрубок доказали существование снижения вязкости при введении достаточно большого количества УНТ (0,82 мас.%) [2].

Накопленные объемы шлама водоподготовки, а также их ежегодный прирост являются неограниченным ресурсом для того, чтобы начать массовое и планомерное применение обезвоженного карбонатного шлама в энергетической отрасли в качестве доступной и дешевой присадки к различным видам топлива. При концентрации в 0,1 мас.% присадка позволяет уменьшить вязкость мазута и температуру его застывания, а также снизить содержание серы в выбросах и улучшить структуру отложений, увеличивая зольность мазута незначительно. Результаты промышленных испытаний свидетельствуют о снижении массовой доли выбрасываемых оксидов серы на 36,5%.

Также были проведены исследования вязкости смесового топлива при наличии обеих рассмотренных присадок (мазут М100 + 0,00625 мас.% УНТ + 0,25 мас.% дипроксамина + 0,5 мас.% карбонатного шлама). Этот образец показал наилучшие результаты, показывая наличие синергетического эффекта от совместного применения указанных присадок.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-08-00731-а.

Литература

1. Зверева Э. Р., Мутугуллина И. А., Зиннатуллина Р. В., Хабибуллина А. Р. Улучшение реологических свойств топочных мазутов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. — Казань: КГЭУ, 2012, № 7/8. — С. 28–33.
2. Зверева Э. Р., Хабибуллина Р. В. — В кн.: Наноматериалы и нанотехнологии в энергетике. Т. 1. — Казань, 2014. — 400 с.

*С. В. Аладушкин, студ.; Илюшин А. С., студ.;
рук. И. А. Бураков, к. т. н. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХЛОРИДНО-НАТРИЕВЫХ ПОДЗЕМНЫХ РАССОЛОВ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНОТОЧНЫХ НА-КАТИОНИТНЫХ ФИЛЬТРОВ

Одной из актуальных областей применения ионообменных технологий является умягчение природных, морских и, в некоторых случаях, сточных вод [1]. Целью применения ионного обмена в данной области служит получение воды пригодной для питания паровых и водогрейных котлов, установок термообессоливания, тепловых сетей. Наиболее распространенная схема очистки такой воды включает в себя установки Na-катионирования одноступенчатого либо двухступенчатого типа, причем наиболее распространенным типом фильтров являются параллельноточные фильтры.

Для регенерации Na-катионитных фильтров на ТЭС и в промышленности в зависимости от местных условий и технико-экономического обоснования используется: техническая поваренная соль; таблетированная поваренная соль; подземные природные рассолы; специально очищенные подземные природные рассолы (отходы производства); продувочная вода испарителей; морская вода; доукрепленные повторные регенерационные воды; отмывочная вода Na-катионитных фильтров; концентрат обратного осмоса. Техническая соль является самым распространенным регенерирующим агентом для регенерации Na-катионитных фильтров. Удельный расход соли на регенерацию принимают в пределах 120–140 г/г-экв по экономическим и экологическим соображениям [2]. Помимо технической соли наиболее широкое применение при регенерации Na-катионитных фильтров имеют природные рассолы. Природные рассолы относятся к отложениям вендсколяжского водоносного комплекса, который залегает на глубине 1150–1200 метров от поверхности земли [3]. Однако для их применения не разработаны общие нормы, которые могли бы быть использованы при работе и регенерации Na-катионитных фильтров.

В представленной работе была попытка охарактеризовать использование хлоридно-натриевых рассолов для регенерации Na-катионитных фильтров по основным показателям: обменной емкости, концентрации и объему фильтрата.

Литература

1. **Калиниченко М. Ю., Гейвандов И. А., Аборнев Д. В.** «Исследование характеристик процессов регенерации при натрий-катионитовом умягчении минерализованных вод». Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета, 2012, № 2 (31), стр. 12–18.
2. **Копылов А. С.** Водоподготовка в энергетике: учебное пособие для вузов / А. С. Копылов, В. М. Лавыгин, В. Ф. Очков. — 2-е изд., стереот. — М.: Издательский дом МЭИ, 2006. — 309 с.
3. **Бураков А. Ю., Моисейцев Ю. В., Родионов И. В., Храмчихин А. М.** «Проблемы использования подземных природных рассолов в технологии подготовки добавочной воды теплотрассы» «Новости теплоснабжения», 2000, № 2.

*Е. А. Ануфриева, П. Н. Баева, С. К. Звонарева студенты,
Е. А. Селиванов асп.; рук. И. С. Никитина, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФЛОТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

В современной энергетике уделяется значительное внимание сточным водам тепловых электростанций (ТЭС). Для очистки сточных вод предлагаются различные схемные и технологические решения [1]. Большое внимание уделяется различным технологиям с получением твердого осадка.

В настоящее время для очистки сточных вод ТЭС от нефтепродуктов наиболее перспективным направлением считается использование флотаторов. Флотационные технологии обработки воды, так же используются при очистки сточных вод в промышленности [2]. В связи с сокращением сточных вод ТЭС, актуальным становится использование малогабаритных установок [3]. Флотаторы в настоящее время так же применяют в модульном исполнении. Большое внимание уделяется вопросам псевдосепарации во флотаторах.

В работе рассмотрены различные конструктивные решения используемых ранее и современных флотационных установок, произведено их сравнение. Рассмотрен вопрос использования коагулянтов и поверхностно активных веществ для интенсификации процесса флотации.

Литература

1. **Седлов А. С., Шищенко В. В. и др.** Разработка и исследование малоотходных систем водопользования на ТЭС. Труды всероссийской научно-практической конференции «Повышение надежности и эффективности эксплуатации электрических станций и энергетических систем» ЭНЕРГО-2010. Т. 2. С. 243–246.
2. **Ксенофонтов Б. С.** Флотационная обработка воды, отходов и почвы. М.: Новые технологии — 2010.
3. **Nikitina I. S., Moryganova Y. A., Maung Ko.Ko., Arefeva E. A.** Ecologically pure sorbents for power system of Myanmar. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 891 (2017) 01226

*Н. А. Баранов, М. Р. Белинский студенты; Е. А. Селиванов асп.;
рук. К. А. Орлов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ В ЛАБОРАТОРИИ «ОПТИМИЗАЦИИ ВХР И МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ»

В современной энергетике существует тенденция по повышению эффективности работы энергетического оборудования. Следствием данного процесса в тепловой энергетике является активное внедрение энергоблоков с парогазовыми установками (ПГУ). Для энергоблоков с ПГУ в качестве корректирующих реагентов, при ведении водно-химического режима, рекомендуется использовать различные аминоксодержащие вещества. При использовании реагентов на основе аминов, которые по своему составу различны, необходимо знать их влияние на переход примесей из кипящей воды в насыщенный пар. Для определения степени влияния необходимо проводить специальные испытания.

На базе Московского энергетического института, совместно кафедрами Технологии воды и топлива и Котельные установки, была создана экспериментальная установка, на которой в 1950–1960-х гг. проводились исследования по распределению различных веществ между водой и паром [1]. Установка моделировала работу барабанного котла.

В настоящее время вышеупомянутая установка находится на реконструкции, для возобновления ее работоспособности с целью проведения новых экспериментов. В результате выполненной работы, на основании существующих чертежей, спецификации и сохранившегося оборудования разработана 3D модель, включающая с себя: общую компоновку оборудования в корпусе; щит автоматического управления; ячейку установки образцов для испытания на коррозионную стойкость.

Работа выполняется при поддержке гранта 13.9600.2017/БЧ.

Литература

1. **Самойлов Ю. Ф.** Растворимость и распределение гидроокиси меди между кипящей водой и равновесным с ней насыщенным паром / Ю. Ф. Самойлов, И. С. Куртова, Т. И. Петрова, Н. Г. Рыжова // Доклады научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 1966–1967 г. М.: МЭИ, 1967. с. 110–112

*Н. А. Баранов, М. Р. Белинский студенты; Е. А. Селиванов асп.;
рук. К. А. Орлов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПРИМЕРЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ В ЛАБОРАТОРИИ «ОПТИМИЗАЦИИ ВХР И МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ»

В современной мировой энергетике существует тенденция по повышению эффективности работы энергетического оборудования. Об этом свидетельствует активное внедрение энергоблоков с парогазовыми установками (ПГУ) и освоение ультра сверхкритических параметров (УСКП) для паросиловых блоков. Переход в XX в. на энергоблоки сверхкритических параметров сопровождался активными исследованиями на экспериментальных стендах, по результатам работы которых налаживались режимы работы промышленного оборудования.

На базе Московского энергетического института, совместно кафедрами Технологии воды и топлива и Котельные установки, была создана экспериментальная установка, на которой в 1950–1960-х гг. проводились исследования по распределению различных веществ между водой и паром [1]. Установка моделировала работу барабанного котла.

На экспериментальной установке проводился широкий спектр исследовательских работ, в частности исследование поведения хлоридов [2]. В работе произведено сравнение результатов экспериментальных данных полученных на кафедре Технологии воды и топлив с данными эксплуатации реальных энергоблоков. Результаты сравнения свидетельствуют о необходимости проведения прямых испытаний на экспериментальном оборудовании, моделирующем работу реальных объектов.

Работа выполняется при поддержке гранта 13.9600.2017/БЧ.

Литература

1. **Самойлов Ю. Ф.** Растворимость и распределение гидроокиси меди между кипящей водой и равновесным с ней насыщенным паром / Ю. Ф. Самойлов, И. С. Куртова, Т. И. Петрова, Н. Г. Рыжова // Доклады научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 1966–1967 г. М.: МЭИ, 1967. с. 110–112
2. Отчет о научно-исследовательской работе (заключительный) «Влияние физико-химических параметров на загрязнение насыщенного пара хлоридами при параметрах работы энергетического оборудования». 1995 г. 621.187.628.163.001.5 № гос. рег. 01940009557.

*Н. А. Большакова, аспирант;
рук. О. В. Егошина, к. т. н, доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПОВЫХ НАРУШЕНИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА РАБОТУ СИСТЕМЫ ДОЗИРОВАНИЯ АМИНОСОДЕРЖАЩИХ РЕАГЕНТОВ

На тепловых электростанциях для поддержания надежного водно-химического режима (ВХР) используется система химико-технологического мониторинга, в составе которой система управления ВХР. Для управления водным режимом в условиях различных режимов работы энергетического оборудования ТЭС необходимо учитывать влияние типовых нарушений химико-технологических процессов на работу системы управления водным режимом [1].

В данной работе выполнено исследование работы систем управления водным режимом с позиции оценки влияния типовых возмущений на работу системы контроля и управления водно-химическим режимом.

На установке автоматического дозирования корректирующих реагентов [2] был проведен ряд экспериментов, моделирующих ведение ВХР с дозированием комплексных аминокислотных реагентов.

На первом этапе исследования было изучено влияние аминокислотного реагента на работу автоматических анализаторов системы контроля и управления ВХР.

На втором этапе смоделированы типы нарушений химико-технологических процессов, такие как изменение температуры, расхода и качественного состава анализируемой среды для определения влияния основных типов нарушений на работу системы управления водным режимом.

Результаты исследования могут быть использованы для дальнейшей оптимизации ведения водно-химических режимов на основе комплексных аминокислотных реагентов и совершенствования системы контроля и управления водно-химических режимов тепловых электрических станций в условиях различных режимах работы энергетического оборудования.

Литература

1. **Воронов В. Н., Егошина О. В., Яровой В. О., Большакова Н. А., Айе Мин Латт.** Использование систем химико-технологического мониторинга для совершенствования водных режимов на современных тепловых электростанциях. «Энергетик» НТФ «Энергопресс», № 2, 2016, с. 41–44
2. **Воронов В. Н., Егошина О. В., Большакова Н. А., Яровой В. О., Айе Мин Латт.** Влияние нарушений водного режима на динамику систем дозирования корректирующих реагентов на тепловых электростанциях. «Теплоэнергетика» М.: МЭИ № 12, 2016. с. 75–80

*Н. А. Брагина, студ., В. Н. Федоров;
рук. И. А. Бураков, к. т. н. (НИУ «МЭИ»)*

ОРГАНИЗАЦИЯ ВИСКОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТОПЛИВ И СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Для ряда естественных, искусственных энергетических топлив, энергетических масел и топливных отходов важнейшими показателями являются свойства, относящиеся к вискозиметрическим испытаниям, а именно: условная относительная вязкость, кинематическая вязкость, динамическая вязкость и расчетный индекс вязкости [1, 2].

В зависимости от вида испытуемого материала различают измеряемые свойства, диапазон измерений, точность измерений и способы измерений. Разнятся и используемые при этом приборы. Прибор, для проведения вискозиметрических испытаний называется вискозиметром. Вискозиметр — измерительный прибор, предназначенный для определения вязкости жидкостей, газов, некоторых видов полимеров. Большинство вискозиметров разработано для ньютоновских жидкостей.

Вискозиметры разделяются на следующие типы: капиллярные, ротационные, с падающим шариком, пузырькового типа, ультразвуковые, вибрационные.

Для проведения испытаний вискозиметры выбираются по следующим критериям: тип исследуемого вещества, точность измерений, диапазон значений, условия работы прибора, цена.

В современной энергетике в качестве энергетических топлив и смазочных материалов используются жидкости, вискозиметрические показатели которых крайне важны для бесперебойной работы энергетического оборудования. К примеру, условия использования водоугольных суспензий в качестве энергетического топлива основываются и на показателе динамической вязкости, который должен быть обеспечен на уровне: для ТЭС не более 1 Па·с, для котельных — 0,6 Па·с [3].

В представленной работе дается обобщенная оценка различных типов вискозиметров, принцип их выбора для проведения испытаний и представлен комплекс мероприятий для организации лабораторных исследований по определению вискозиметрических показателей энергетических жидкостей.

Литература

1. **Белосельский Б. С.** «Технология топлива и энергетических масел». 2-е издание. исп. И доп. — М: Издательство МЭИ, 2005. — 348 стр.
2. **Белосельский Б. С.** «Контроль энергетических масел» М: Издательство МЭИ, 1988.
3. **Долинский А. А., Халатов А. А.** «Водоугольное топливо: перспективы использования в теплоэнергетике и жилищно-коммунальном секторе» Промышленная тепло-техника, т. 29, № 5, 2007 год.

*Н. А. Баранов, М. Р. Белинский студенты; М. В. Бутакова асп.;
рук. К. А. Орлов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ВЫБОР ПРИБОРОВ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ В ЛАБОРАТОРИИ «ОПТИМИЗАЦИИ ВХР И МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ»

В современной отечественной энергетике существует тенденция по автоматизации контроля показателей качества теплоносителя на тепловых электрических станциях (ТЭС). В большей степени вопрос автоматизации затрагивает энергоблоки с парогазовыми установками (ПГУ). Работа ТЭС с ПГУ в основном ведется в режимах «пусков» и «остановов», для покрытия пиковой нагрузки. Большую часть времени данные энергоблоки находятся в резерве и встает очень важный вопрос о применении реагентов для организации коррекционного водно-химического режима (ВХР). Основная задача, работа без повреждений и снижения экологичности, вызываемых коррозией внутренних поверхностей водоподготовительного, теплоэнергетического оборудования, образования накипи и отложений на теплопередающих поверхностях, отложений в проточной части турбин, шлама в оборудовании и трубопроводах электростанций.

На отечественных станциях широкое распространение приобретают коррекционные водно-химические режимы (ВХР) с использованием аминоксодержащих реагентов. Однако до настоящего времени не было документа, нормирующего применение и контроль дозирования этих реагентов. С разработкой рекомендаций IAPWS TGD8-16 [1] остро встает вопрос о комплексном изучении используемых реагентов на опытно-промышленных стендах.

На базе Московского энергетического института была создана экспериментальная установка, на которой проводились исследования по распределению различных веществ между водой и паром. В настоящее время вышеупомянутая установка находится на реконструкции. В работе проведен анализ современного состояния отечественного приборного парка автоматических анализаторов для систем химико-технологического мониторинга. На примере ведущих отечественных производителей приборов сделана оценка потребности экспериментальной установки в приборах контроля.

Работа выполняется при поддержке гранта 13.9600.2017/БЧ.

Литература

1. IAPWS TGD8-16, Technical Guidance Document: Application of Film Forming Amines in Fossil, Combined Cycle, and Biomass Power Plants, <http://www.iapws.org>.

*А. Ю. Федорова, аспирант;
рук. Е. Н. Бушуев, д.т.н, доц. (ИГЭУ, Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ МОЮЩИХ СВОЙСТВ КИСЛОТНЫХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХИМИЧЕСКИХ ОЧИСТОК ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Одной из причин вынужденных остановов паровых котлов является повреждение парообразующих труб, обусловленное во многих случаях наличием на их внутренних поверхностях значительного количества отложений. Поэтому признанными и главными критериями оценки эффективности ВХР парового котла являются критерии состояния внутренних поверхностей его пароводяного тракта. В России при эксплуатационных химических очистках труб этих поверхностей широко используются ингибированная соляная кислота и специализированные моющие кислотные композиции как зарубежного, так и российского производства.

Выполнена лабораторная проверка моющих свойств ряда реагентов, применяемых при эксплуатационных промывках паровых котлов. По результатам проведенных исследований, учитывая характеристику отложений (двухслойные равномерные железооксидные отложения и двухслойные железооксидные отложения с бугорчатыми участками, содержащие медь), можно сделать следующие выводы:

1. Моющий эффект химических реагентов в значительной мере обусловлен диспергированием отложений [1, 2].
2. Скорость очистки труб на начальном и среднем этапах, когда моющему раствору доступны пористые, рыхлые отложения, существенно зависит от текущего значения удельной загрязненности.
3. На последующем этапе, когда пористый слой удален, и остались плотные отложения, скорость очистки труб практически не зависит от текущего значения удельной загрязненности и определяется свойствами моющего раствора.
4. В начальный период очистки скорость коррозии «чистой» стали (индикаторов коррозии) во всех проверенных растворах более стандартного значения ($0,2 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$) и уменьшается в дальнейшем до значения, близкого к стандартному. Скорость коррозии ее индикаторов пропорциональна кислотности моющего раствора.

Литература

1. Химические очистки теплоэнергетического оборудования. Вып. 2 / под ред. Т.Х. Маргуловой. — М.: Энергия, 1978. — 175 с.
2. **Федорова А. Ю.** Исследование моющих свойств кислотных реагентов для эксплуатационных химических очисток барабанных паровых котлов // II Международная научно-техническая конференция «Перспективы развития новых технологий в энергетике России», 26–27 октября 2017. — М.: ОАО «ВТИ», 2017. — С. 226–234.

*А. Т. Сарпеков докт.; Б. К. Исайнов студ.;
рук. О. А. Степанова, к. т. н., доц.; М. В. Ермоленко, к. т. н.
(ГУ имени Шакарима города Семей, г. Семей)*

ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА НА СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ

В последние годы все большую популярность приобретают топливные брикеты, которые изготавливаются как из одного вида сырья, так и из смеси различных компонентов. Для их производства используется уголь, отходы деревообрабатывающей промышленности и сельскохозяйственного производства и т. д. Причем получаемые топливные брикеты могут довольно значительно отличаться по ряду своих свойств. К преимуществам данного топлива можно отнести их экологичность и практичность [1].

Для того, чтобы произведенные топливные брикеты обеспечивали получение необходимого количества теплоты с минимальными затратами, требуется тщательная проработка качественных характеристик брикетов.

Целью исследования ставится обоснование возможности использования каменного угля марки Д разреза Каражыра Восточно-Казахстанской области для производства топливных брикетов с различным содержанием связующего вещества, так как ранее проведенные исследования показали, что производство брикетов для данного вида угля нецелесообразно [2].

Исследуемый уголь имеет рабочую влажность 14%, рабочую зольность 21,44% и низшую теплоту сгорания 18855 кДж/кг. Для этого изготавливали опытные образцы, для которых определяли структурно-механические характеристики в зависимости от условий прессования. Для проведения исследования было проведено планирование эксперимента по влиянию компонентного состава топливных брикетов на структурно-механические свойства.

Литература

1. Технология прессования угольной пыли. Технология брикетирования угля, бурого угля и кокса. Связующее для угольных брикетов // BIORESURS URL: <http://bioresurs.com/briketirovanie-uglja/pressovanie-ugolnoj-pyli> / (дата обращения: 01.11.2017).
2. Дерявко И. И., Перепелкин И. Г., Чупрунов К. В. Предварительное исследование возможности брикетирования угольной мелочи разреза «Каражыра» // Вестник НЯЦ. 2001. No 3. С. 207–211.

*В. В. Козловский, студент;
рук. И. С. Никитина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛА НА СТЕНДЕ, МОДЕЛИРУЮЩЕМ ОБОРОТНУЮ СИСТЕМУ ОХЛАЖДЕНИЯ ОТКРЫТОГО ТИПА

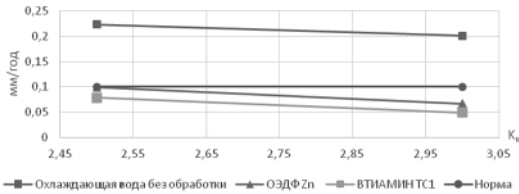


Рис. 1. Скорость коррозии углеродистой стали

В настоящее время в энергетике очень актуальна проблема выбора водного режима для оборотных систем охлаждения.

Для правильного выбора водного режима оборотных систем охлаждения необходимо учесть все особенности

конкретного объекта, качество воды, тип используемых материалов, температурный режим, а так же другие технологические параметры [1, 2].

Применяемая обработка должна решить несколько вопросов:

- предотвращение накипеобразования в конденсаторах турбины и других теплообменных аппаратах;
- предотвращение коррозии охлаждаемого оборудования;
- предотвращение биологических обрастаний;
- обеспечение минимальных потерь с продувочной водой.

Исследования заключаются в проверке и оценке эффективности работы реагентов для стабилизационной обработки воды оборотных циклов.

Испытания проведены на стенде, моделирующем работу оборотного цикла. Использованный для испытаний стенд является моделью градирни открытого типа. В состав стенда входят градирня, циркуляционный насос, ротаметр, нагревательный элемент, система определения скорости коррозии.

На графике представлены результаты испытаний по определению скорости коррозии углеродистой стали, при использовании разных ингибиторов. Как видно из графика, скорость коррозии углеродистой стали без применения реагента составила 0,2 мм/год, что является превышением нормы согласно ГОСТ 9.905-2007 — 0,1 мм/год. Наилучшие результаты продемонстрировал реагент ВТИАМИН ТС1, фосфонат нового поколения.

Литература

1. **Воронов В. Н., Петрова Т. И.** Водно-химические режимы ТЭС и АЭС Издательский дом МЭИ, 2009.
2. **Копылов А. С., Лавыгин В. М., Очков В. Ф.** Водоподготовка в энергетике: Учебное пособие для вузов-2 е изд. — М.: Издательский дом МЭИ, 2006.

Ю. А. Кудинова, студ., Ко Ко Маунг, асп.;
рук. Ю. А. Морыганова, к.х.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОРБЕНТА АПТ-1

Одним из факторов, угрожающих экологической безопасности, являются нефтепродукты, содержащиеся в сточных водах ТЭС.

Наиболее эффективным способом удаления нефтепродуктов из сточных вод является сорбционная очистка, позволяющая удалить нефтепродукты до следовых количеств, что является ее преимуществом по сравнению с другими способами.

Для оценки возможности применения сорбентов для очистки воды требуются сведения об их сорбционных характеристиках [1].

В работе проведены исследования сорбционных характеристик в динамических и в статических условиях сорбента АПТ-1 «Кера-про», в качестве эталона выбран березовый активированный уголь (БАУ).

Были рассчитаны величины динамической обменной емкости для сорбентов АПТ-1 и БАУ, которые составили 0,646 мг/г и 1,429 мг/г соответственно, однако, у сорбента АПТ-1 концентрация смываемых нефтепродуктов меньше, поэтому сделан вывод, что АПТ-1 обладает поверхностной структурой или порами, позволяющими более прочно удерживать нефтепродукты на сорбционной поверхности.

Определена предельная величина сорбции БАУ и АПТ-1 в опыте с уксусной кислотой ($2,386 \cdot 10^{-3}$ моль/г и $0,124 \cdot 10^{-3}$ моль/г соответственно) и метиленовым голубым ($9,55 \cdot 10^{-5}$ моль/г (30,576 мг/г) и $9,43 \cdot 10^{-5}$ моль/г (30,152 мг/г) соответственно). На основе полученных результатов сделан вывод, что на поверхности АПТ-1 лучше сорбируются более тяжелые и длинные органические молекулы [2, 3].

Получены изотермы сорбции нефтепродуктов при использовании БАУ и АПТ-1 и рассчитаны значения констант уравнения Фрейндлиха. Активность сорбентов БАУ и АПТ-1 по отношению к нефтепродуктам практически одинаковая.

На основе проведенных экспериментов сделано заключение, что сорбент АПТ-1 «Кера-про» обладает достаточно хорошими сорбционными характеристиками при сорбции нефтепродуктов и данный сорбент можно применять для очистки воды

Литература

1. **Покровский В. Н., Аракчеев Е. П.** Очистка сточных вод тепловых электростанций. — Энергия, 1980.
2. **Фролов Ю. Г.** Поверхностные явления и дисперсные системы / Ю. Г. Фролов. — М.: Химия, 1982. — 400 с. — М.: Химия, 1982. — 400 с.
3. **ГОСТ 4453-74.** Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный [Электронный ресурс]. — URL: <http://gostexpert.ru/gost/gost-4453-74>.

Д. В. Кузнецова, студ.; рук. К. А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ РОССИЙСКОГО И МИРОВОГО АССОРТИМЕНТА ОГНЕСТОЙКИХ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ АРИЛФОСФАТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Применение высокотемпературных газовых турбин и повышенные параметры пара в мощных современных турбоагрегатах, существенно увеличивает опасность возникновения пожаров на электростанциях из-за самовозгорания нефтяного турбинного масла [1]. Одним из наиболее распространенных способов устранения опасности пожаров является замена нефтяного турбинного масла на огнестойкие синтетические жидкости.

Одним из самых важных отличий огнестойких жидкостей от нефтяных масел является температура самовоспламенения (720–730°C). Также они не передают пламя по струе, пары их негорючи, смеси с кислородом и угольной пылью взрывобезопасны [2].

В настоящей работе был проведен анализ ассортимента и технических показателей огнестойких жидкостей иностранного производства, используемых на ТЭС как на территории России, так и за рубежом.

В настоящий момент отечественная энергетическая отрасль крайне заинтересована в импортозамещении производства огнестойких жидкостей, что приводит к необходимости создания отечественного аналога мировых брендов огнестойких жидкостей [3]. В связи с этим на основе анализа ассортимента и применения огнестойких жидкостей в энергетике России были сформулированы требования к техническим показателям огнестойких жидкостей. Также был проведен предварительный технико-экономический расчет возможности выпуска огнестойкой жидкости российским производителем.

Литература

1. Вилянская Е. Д., Лыско В. В., Вайштейн А. Г., Мартьянов В. М. Отечественные огнестойкие турбинные масла и их применение в энергетике — Электр. Станции, 1989, № 1, с 44–48.
2. Иванов К. И., Вилянская Е. Д., Вайштейн А. Г. Опыт применения огнестойких турбинных масел в системах регулирования мощных паровых турбин — В кн.: Котельные и турбинные установки энергетических блоков. Опыт освоения / Под ред. Дорошука В. Е. и др. М.: Энергия, 1971.
3. ПАО «НК Роснефть» Возобновление производства огнестойкого масла типа ОМТИ в РФ — Конференция начальников турбинных цехов российских и зарубежных АЭС — М.: 2017

Ю. В. Лебедева, студ.;
рук. Н. А. Еремина, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

ОПЫТ ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПОСЛЕ ХИМИЧЕСКИХ ОЧИСТОК КОТЛОВ НА ТЭС

После проведения химической очистки котлов на ТЭС образуются сточные воды, которые представляют собой сбросы с большим разнообразием содержащихся в них веществ. Концентрации веществ в этих сбросах превышают ПДК вредных веществ в воде водоемов рыбохозяйственного и хозяйственно-питьевого водопользования, поэтому на ТЭС необходимо предусматривать мероприятия по очистке данного потока сточных вод.

Очистка этих сточных вод, как правило, состоит из следующих этапов: 1) нейтрализация раствора и выделение из него токсичных веществ; 2) последующая очистка раствора от органических веществ.

Ниже приведены примеры обработки сточных вод после химических очисток котлов на ТЭС:

- 1) Предпусковая водно-химическая очистка котла ЭМА-028-КУ «Ново-Салаватской ТЭЦ» раствором хеламина. Сброс хеламинного раствора после очистки произведен в бак грязного конденсата (БГК), где происходило его отстаивание, разбавление до безопасной концентрации и охлаждение до безопасной температуры. Опорожнение БГК произведено в промливневую канализацию (ПЛК).
- 2) Предпусковая водно-химическая очистка котла КСТ-90 УСТК-2 ОАО «Северсталь» с использованием каустической соды и тринатрийфосфата. Дренажное отработанного щелочного раствора выполнено в систему промышленной канализации для его обезвреживания. Для охлаждения сливаемых из КУ растворов и воды было проведено их разбавление технической водой.
- 3) Эксплуатационная химическая очистка котла ТГМП-1202 Костромской ГРЭС этилендиаминтетрауксусной кислотой. Сброс промывочного раствора после очистки осуществлен в бак-нейтрализатор. Раствор после стадии нейтрализации-пассивации вытеснен в бассейн-нейтрализатор. В течение одного месяца большая часть раствора из бассейна-нейтрализатора была сожжена в топках котлов ГРЭС.

Таким образом, для очистки сточных вод после химических очисток на практике применяют обязательное разделение и сбор отмывочных вод с невысокой загрязненностью, их разбавление и сброс в ПЛК. Для сточных вод после этапов непосредственной очистки, с высокими концентрациями загрязняющих веществ, используют стадии химической нейтрализации, с последующим разбавлением и сбросом в ПЛК, либо огневое обезвреживание в топках котлов.

Ко Ко Маунг, асп.; Е. Ю. Шальнова, студ.;
И. С. Никитина, к.т.н.; доц.

ПОСТРОЕНИЕ ВЫХОДНЫХ КРИВЫХ ФИЛЬТРОВ С СОРБЕНТАМИ ИЗ МЬЯНЫ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ ORIGIN

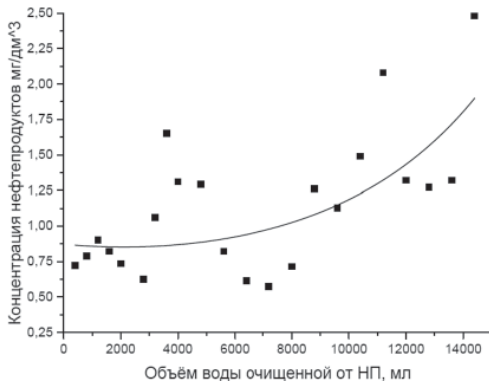


Рис. 1. Выходная кривая фильтра, нагруженного материалом кокосовое волокно (высота загрузки 40 см)

ные выбранными сорбентами с высотой слоя 40 см. В фильтрате проводились измерения содержания нефтепродуктов.

Во время проведения эксперимента возник вопрос: в какой момент необходимо выключать фильтр на регенерацию. При фильтровании происходит смыв захваченных нефтепродуктов и кривые фильтрования не дают ясной картины. Для решения данной проблемы были построены выходные кривые всех фильтров.

Для обработки результатов экспериментов опробованы программы: Mathcad 15, Microsoft Excel, Origin 2017. Была выбрана программа Origin, в ней получили представительные выходные кривые фильтров (рис. 1), с помощью которых можно выбрать оптимальное время отключения фильтра для восстановления или замены сорбентов.

После обработки результатов эксперимента в программе Origin были получены выходные кривые, хорошо согласующиеся с проведенным экспериментом, отключение фильтров проводилось в нужный момент.

Литература

1. Климов Е. С. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод. УлГТУ, 2011
2. Е. А. Арефьева, Ко Ко Маунг. О возможности использования для очистки нефтесодержащих вод экологически чистых сорбентов, 2016.

А. О. Парамонова, студ., А. М. Хоменков, студ.;
рук. И. А. Бураков, к. т. н. (НИУ «МЭИ»)

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПЛИВНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТОПЛИВ

Общие запасы полезных ископаемых по данным ряда исследований [1, 2], которые можно использовать в качестве энергетического топлива или переработать для использования в качестве энергетического топлива, на территории Российской Федерации (РФ), составляют: угля — 17,6%, нефти — 6,0%, газа — 24,6% по отношению к мировым запасам. Данный показатель выводит РФ в десятку лидеров по запасам природного энергетического топлива, а по запасам газа Россия находится на лидирующей позиции. Однако, качество большинства запасов угля и нефти является низким. К примеру, доказанные запасы бурого угля на территории РФ исчисляются в количестве 107 922 млн т, что составляет 68,7% от общего числа запасов угля РФ. В свою очередь, доля геологических запасов тяжелой нефти на территории РФ составляет 48,8% от общего количества запасов нефти РФ [1]. Приведенные цифры показывают, что в скором времени ресурсы низкого качества будут основным источником получения энергии и вспомогательных материалов, задействованных в энергетической отрасли. В связи с этим немаловажную роль будут играть лабораторные исследования, направленные на определение состава и основных свойств угля, нефти и газа, а также на разработку новых эффективных способов их переработки, повышающих качество и экологическую составляющую.

Важнейшим направлением разработки лабораторий энергетических топлив и сопутствующих исследований будет их комплексное использование для проведения процессов обогащения исходных топлив.

Комплексные исследования могут проводиться в рамках поиска путей по созданию топливных смесей, калорийность (теплота сгорания), содержание серы, а также содержание балластных составляющих (внешний и внутренний балласт) которых будет отличаться от исходных продуктов в положительную сторону. Особо важным направлением может быть работа по переработке твердых и жидких исходных топлив, причем как природных топлив, так и их отходов, с целью получения синтетического газа и пирогаза. Подобная научно-исследовательская деятельность, а именно: повышение качества процессов деструкции топлив, таких как газификация и пиролиз, может сыграть одну из первых ролей в решении проблемы повышения экологической безопасности в регионах Урала, Сибири и Дальнего Востока. Особенно важным это будет для тех регионов, куда подвод магистралей природного газа ограничен из-за особенностей их расположения, либо отсутствует полностью.

Литература

1. **BritishPetroleum** — статический обзор мировой экономики. Июнь 2016 года. BP Statistical Review of World Energy June 2016. BP: Energyeconomics.
2. **Д. Л. Рахманкулов, С. В. Николаева, Ф. Н. Латыпова, Ф. Ш. Вильданов, С. Ю. Шавшукова** «Мировые запасы угля и перспективы его использования» Башкирский химический журнал, т. 16, № 2, стр. 21–28.

М. М. Сазанова, студент;
рук. О. В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦИКЛОГЕКСИЛАМИНА НА МЕТОДИКУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АММИАКА С РЕАКТИВОМ НЕССЛЕРА

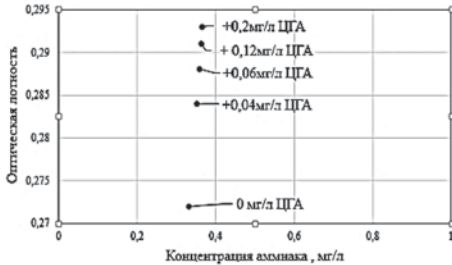


Рис. 1. Измерение концентрации аммиака с добавлением и без добавления ЦГА

Поскольку при организации водно-химических режимов энергоблоков с использованием жирных аминов их летучесть недостаточно высока, чтобы регулировать величину рН в паро-конденсатном тракте, необходимо предусматривать возможность индивидуального дозирования небольших количеств аммиака в добавочную воду или конденсат [1]. Поэтому, актуален вопрос определения концентрации аммиака

в воде, содержащей комплексные реагенты.

Известно [2], что реакция взаимодействия аммоний-ионов с реактивом Несслера аналогична его взаимодействию с ионами алкиламмония, образующимися при связывании аминов с водой. Поэтому данный реактив может быть применим как для определения аминов, так и аммиака.

В данной работе проведен эксперимент с целью проверки влияния содержания циклогексиламина (ЦГА) на определение концентрации аммиака в растворе. В качестве методики определения аммиака был взят способ с реактивом Несслера, позволяющий определить концентрации аммиака в диапазоне 0,05–4 мг/л.

Эксперимент позволил получить калибровочный график на диапазон концентраций аммиака от 0 до 1 мг/л. Дальнейшее исследование показало рост оптической плотности с увеличением концентрации ЦГА в растворе пробы (рис. 1).

Таким образом, был подтвержден эффект взаимовлияния аминов и аммиака в растворе пробы на определение их содержания и способность аминов вступать во взаимодействие с реактивом Несслера. Добиться правильного определения аммиака в присутствии аминов можно при помощи коагуляции [3].

Литература

1. Богачев А. Ф. Хеламинный водно-химический режим котлов-утилизаторов парогазовых установок. — Научная статья. ОАО «ВТИ».
2. Гунич С. В., Янчуковская Е. В. Определение концентрации высших аминов фотометрическим методом с реактивом Несслера. — «Вестник» АГТА № 1, 2009 г. (том 3)
3. Меньшикова В. Л., Морыганова Ю. А., Очков В. Ф. Химический анализ в энергетике: в 5 книгах. Кн. 1, 2 — М: Х 463 Издательский дом МЭИ, 2008 — 407 с.

Е. А. Селиванов, асп.;
рук. Т. И. Петрова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ.

В современной мировой энергетике существует тенденция перехода к ресурсосберегающим технологиям производства электроэнергии и тепла. Тепловая энергетика является одним из основных потребителей такого природного ресурса как вода. Одним из источников потерь воды на тепловых электрических станциях (ТЭС) является выпар градирен [1].

В ряде стран, не обладающих значительными водными ресурсами, применяют «сухие» градирни. Использование «сухих» градирен, называемых градирни Геллера, сокращает потери воды на ТЭС, так как отвод тепла из градирен производится воздухом. Повсеместное применение данной технологии ограничивается различными факторами, один из которых водно-химический режим (ВХР). Одной из причин является использование в таких градирнях в качестве конструкционного материала сплавов алюминия. Наличие в тракте энергоблоков различных по свойствам конструкционных материалов — стали и алюминия, осложняет организацию ВХР, так как для обеспечения минимальной скорости коррозии необходимы различные значения рН [2, 3]. Для сплавов алюминия оптимальным считается диапазон рН от 6.5 до 7.0, предпочтительная область для стали выше 9.0.

В работе произведена расчетная оценка форм существования алюминия в зависимости от рН и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП). Получены оптимальные расчетные диапазоны ОВП и рН для образования оксидов и гидроксидов алюминия. Приведено сравнение расчетных результатов с экспериментальными данными и данными, полученными в процессе эксплуатации на ТЭС.

Литература

1. **Стырикович М. А., Мартынова О. И., Миропольский З. Л.** Процессы генерации пара на тепловых электростанциях, М. Энергия, 1969
2. **Бабаев В. А., Мартынова О. И.** Обоснование выбора водного режима для ТЭС с воздушно-конденсационными установками / Теплоэнергетика 1984, № 9 с. 63–64.
3. **Sotondeth K., Ngiyen T. H., Forey R. T., Brown B. F.** The Chemical Nature of Aluminium Corrosion. Corrosion 1981, v. 37, № 7 p. 358–362.

В. О. Яровой, асп.; рук. О. В. Егошина, к.т.н., доц. НИУ «МЭИ»

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ УЭП Н-КАТИОНИРОВАННОЙ И ДЕГАЗИРОВАННОЙ ПРОБЫ ДЛЯ РАСЧЕТА pH

Одним из важнейших показателей качества ведения водно-химического режима на тепловых электростанциях является водородный показатель (рН). Величина рН влияет на скорость коррозии конструкционных материалов пароводяного тракта и нормируется во всех потоках.

рН метры, в отличие от кондуктометров, требуют большего объема обслуживания, более частой градуировки и замены комплектующих. На показания рН-метров значительно влияет температура анализируемой пробы [1], загрязнение электродов, частота градуировки и другие факторы.

Измерение удельной электропроводности прямой, Н-катионированной и дегазированной пробы позволит с помощью предложенных алгоритмов рассчитывать рН и концентрацию основных ионов (аммония, форм диссоциации угольной кислоты, хлоридов и сульфатов) в питательной воде энергетических котлов.

Алгоритм позволяет учитывать концентрацию анионов сильных кислот и форм диссоциации угольной кислоты при косвенном расчете значения рН, работает в широком диапазоне значений рН и концентрации аммиака для питательной воды при аммиачном водно-химическом режиме в отличии от методики расчета анализатора FAM Deltacon рН, которая дает большие погрешности при повышенных концентрациях гидрокарбонатов.

В предложенном алгоритме используются следующие соотношения [2]:

- уравнения электропроводности для прямой, Н-катионированной и дегазированной пробы;
- уравнения электронейтральности для этих проб;
- выражения для констант диссоциации слабых электролитов (угольной кислоты и аммиака);

На основании вышеприведенных соотношений, составлена система уравнений, для решения которой разработан итерационный алгоритм, основанный на методе половинного деления.

Литература

1. **Яровой В. О., Егошина О. В., Табаков И. А.** Зависимость водородного показателя от температуры // Энергосбережение и водоподготовка № 4 2017 г. с. 9–14
2. **Б. М. Ларин, Е. Н. Бушуев.** Основы математического моделирования химико-технологических процессов обработки теплоносителя на ТЭС и АЭС М.: Издательский дом МЭИ, 2009

*Н. А. Кириллова, студ.; С. Р. Саитов, асп.;
рук. Н. Д. Чичирова, д.х.н., проф. (КГЭУ, Казань)*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИК-СПЕКТРОМЕТРИИ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ХАРАКТЕРА ОТЛОЖЕНИЙ НА ОБРАТНООСМОТИЧЕСКИХ МЕМБРАНАХ

Выявляя причину преждевременного выхода из строя мембранных блоков установки обратного осмоса, был использован метод ИК-спектроскопии для выявления характера отложений на мембранах [1].

Исходным материалом для исследований состава отложений стали отработанные ацетатцеллюлозные мембраны обратноосмотического рулонного фильтracионного элемента NanoRO K 8040-C установки «Шарья МП-25-ОО» для переработки стоков котельной «Ашальчи» Ашальчинского месторождения ПАО «Татнефть».

Образцы выбирались из пяти точек по длине и четырех точек по ширине 1, 8, 15 и 21 мембранного слоя. Всего 80 образцов (рис. 1).

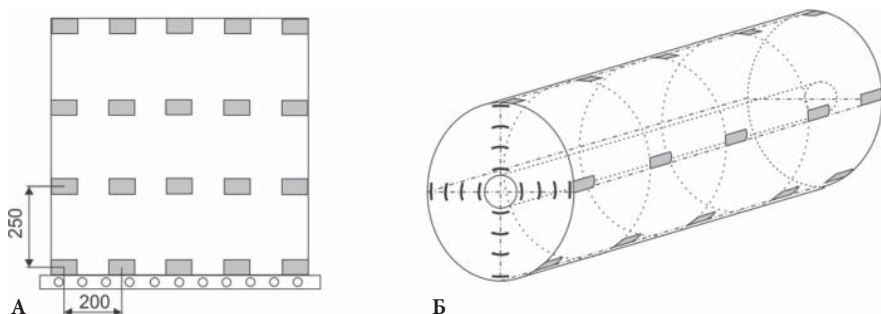


Рис. 1. Места изъятий проб материала

Исследование морфологии поверхности отработанных обратноосмотических ацетатцеллюлозных мембран производилось на сканирующем зондовом микроскопе Solver HV методом атомно-силовой микроскопии.

Исследование инфракрасных спектров было выполнено с помощью ИК-Фурье спектрометра ALPNA (модуль ALPNA-E) фирмы Bruker Optics (Германия) методом нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО или attenuated total reflection — ATR) в ЦКП на базе ЮРГПУ им. М. И. Платова.

Литература

1. **Комов А. П.** Применение ИК-спектроскопии отражения для классификации различных объектов // Сборник статей V Региональной конференции магистрантов, аспирантов и молодых ученых по физике, математике и химии (15 мая–15 июня 2017 г., Омск); изд. Омский гос. ун. им. Д. Ф. Достоевского, Омск — С. 177–180.

Тет Вей Лин, асп.; рук. О. В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ НАТРИЯ ПО ТРАКТУ ЭНЕРГОБЛОКА

Для ТЭС и АЭС весьма актуальна задача прогнозирования возможных нарушений водно-химического режима (ВХР), в значительной мере определяющего надежность работы оборудования электростанций. Использование современных средств вычислительной техники и методов математического моделирования способствует широкому внедрению технической диагностики в системах химико-технологического мониторинга (СХТМ) [1].

Математические модели позволяют значительно сократить объем химического контроля и, в частности, по значению одного параметра в одном из основных участков тракта получить значения концентрации примеси по конденсатно-питательному тракту в целом.

Одной из наиболее распространенных примесей, поступающих в конденсатно-питательный тракт энергоблока, являются ионы натрия, так как их содержание в присосах охлаждающей воды весьма велико. Нормирование содержания натрия в питательной воде и в остром паре Правилами технической эксплуатации также свидетельствует о значимости этой примеси.

Рассмотрены основные элементы энергоблока: конденсатор, деаэратор и котел. При описании этих элементов предполагается идеальное перемешивание теплоносителя в каждом элементе. При этом приняты следующие допущения: коэффициенты образования отложений на поверхностях нагрева равны нулю; концентрации натрия в паре, добавочной воде ХВО, в присосах, в конденсате греющего пара из ПНД и ПВД, в паре отбора турбин приняты постоянными; изменение расхода присосов охлаждающей воды происходит скачкообразно.

Приведены расчеты для паросилового блока и парогазовой установки при одинаковых параметрах теплоносителя (давление, температура). Расчеты проведены для двух расходов непрерывной продувки: 0,5% и 2% от расхода пара. Полученные результаты прогнозирования поведения примесей по тракту предполагается использовать в инженерных расчетах системы химико-технологического мониторинга теплоносителя.

Литература

1. **Воронов В. Н., Егошина О. В.** Математическая модель распределения примесей по тракту энергоблока для систем химико-технологического мониторинга д.т.н., Новое в российской электроэнергетике // Москва. 2008 г. № 10. с 28–33.

Секция 46

СХЕМЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Председатель секции — к.т.н., доцент А.А. Дудолин
Секретарь секции — ассистент С.М. Крашенинников

П. А. Абрамов, Ю. В. Абрамова, студенты;
рук. М. М. Султанов, к.т.н. (ВФ НИУ «МЭИ», Волжский)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ПАРОВЫХ КОТЛОВ ТЭЦ НА ОРЭМ

Обслуживание высокопроизводительного котла обходится недешево. Любая организация, использующая их, выбирает оптимальный режим работы котла, при котором имеется максимально возможный КПД.

В инструкции к котлу указывается номинальный КПД, составляющий 92–95%, реальный показатель ниже. Также КПД снижается из-за теплотеря [1].

Влияние различных параметров на КПД котла представлено на рис. 1 [2].

КПД брутто котлов,%, по прямому балансу определяется по формуле:

$$\eta_{\kappa}^{\text{бр}(np)} = \frac{Q_{\kappa}^{\text{бр}}}{BQ_{\text{yt}} + Q_{\text{вн}}} 10^2 \quad (1)$$

где $Q_{\kappa}^{\text{бр}}$ — выработка тепла брутто, Гкал; B — количество топлива, т; Q_{yt} — теплота сгорания условного топлива, Гкал/т; $Q_{\text{вн}}$ — количество тепла, Гкал.

Параметры паровых котлов ТЭЦ представлены в табл. 1.

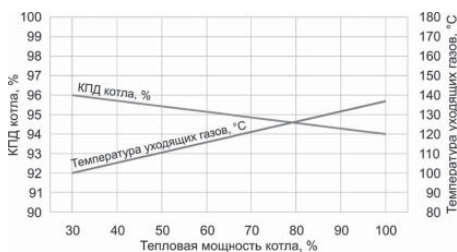


Рис. 1. Зависимость коэффициента полезного действия котла от тепловой мощности

Таблица 1. Параметры котлов

Паропроизводительность котла, т/ч	КПД ТГМ-84 А	КПД ТГМ-84 Б	КПД БКЗ-420-140
210	91,25	92,99	93,01
270	91,86	93,41	93,45
300	92,08	93,56	93,65
330	92,24	93,7	93,83
390	92,36	93,85	94,04
420	92,35	93,88	94,13

Разрабатывается методика нагрузки паровых котлов в зависимости от КПД.

Литература

1. **В. А. Григорьева, В. М. Зорина.** Тепловые и атомные электрические станции. М.: Энергоатомиздат, 1989;
2. **Л. Н. Сидельковский.** Котлы-утилизаторы и энерготехнологические агрегаты (Экономия топлива и электроэнергии). — М.: Энергоатомиздат, 1989.

Батсамбуу У., асп.; рук. А. А. Дудолин, к.т.н., доц. (НИУ, «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА ПУТЕМ ПЛАЗМЕННОЙ ГАЗИФИКАЦИИ ДЛЯ УСЛОВИЙ МОНГОЛИИ

Основным энергетическим топливом в Монголии является уголь. Доля угля в потреблении первичных энергетических ресурсов составляет 87%. Общегеологические запасы угля оцениваются в количестве 150 млрд т. так как его геологические и разведанные производственные запасы многократно превышают потребление страны не только в настоящее время, но и в будущем. При прямом использовании угля в качестве топлива на энергетических объектах и предприятиях создается опасность негативного влияния на окружающую среду, а именно: при сжигании угля не только происходит образование токсичных веществ — оксидов серы и азота, но и образование бензапирена, сажеобразования. Для развития энергетики Монголии специалистами проводятся исследования и внедряются новые передовые технологии, которые позволяют повысить эффективность использования твердого топлива.

Решением указанных выше проблем является выработка, так называемого, синтетического газа- продукта переработки низкосортного твердого топлива, в процессе газификации. Одним из перспективных видов технологии газификации является плазменная газификация твердого топлива. На базе НИУ «МЭИ» была проведена экспериментальная работа, посвященная изучению процесса плазменной газификации. В качестве перерабатываемого исходного продукта были взяты — уголь месторождения Багануур и Шивээ-Овоо (Монголия). Исходный состав используемого материала представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики исходного материала для экспериментов

Название, марка, месторождение угля	Элементарный состав исходного материала, %						
	W ^r	A ^r	N ^r	O ^r	S ^r	H ^r	C ^r
Баганурский уголь, Б2	33,0	12,1	0,5	12,0	0,3	2,5	39,6
Шивээ-Овоо, Б3	40,7	8,5	0,6	12,3	0,8	2,8	34,3

По результатам экспериментальной работы из горючих компонентов синтетического газа был обнаружен СО. Максимальное значение теплоты сгорания газа, полученного после процессов плазменной газификации, может быть не более 12,63 МДж/м³ [2].

Литература

1. Информационный сайт «Центр полезных ископаемых и нефти» [Электронный ресурс]. — Режим доступа <http://mgram.gov.mn/>, свободный. — Загл. с экрана.
2. С. Д. Федорович, И. А. Бураков, А. А. Дудолин Оптические спектры продуктов газификации углей в ВЧИ-плазмотроне // Современные проблемы теплофизики и энергетики конф., — Москва, 9–11 окт., 2017 г.

К. Н. Бубнов, студент;
рук. Г. Г. Орлов, к.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОДПИТКИ ТЕПЛОСЕТИ И РАСХОДОВ ПАРА НА ПОДОГРЕВАТЕЛИ ХВО

Для отопления, горячего водоснабжения и вентиляции зданий и сооружений используется тепло в виде горячей воды, подаваемое от электростанции. Отпуск этого тепла от ТЭС и АЭС может осуществляться как по открытой схеме при отпуске воды на горячее водоснабжение потребителей и технологические нужды предприятий, так и по закрытой схеме, когда нет отбора воды из тепловых сетей.

Нахождение величины подпитки теплосети сводится к определению утечек в системе теплоснабжения. Обычно для простоты расчетов утечки определяют приближенно, принимая их как $2\div 3\%$ от расхода циркулирующей воды. Поскольку от правильного определения величины подпитки зависят энергетические показатели электростанции, то необходимо использовать наиболее точные методы определения утечек теплоносителя от ТЭС до теплового потребителя. Например, для открытой системы теплоснабжения эта величина будет зависеть от расхода воды на горячее водоснабжение $W_{звс}$, объема воды в теплосети $V_{Т.С.}$ и объема воды в тепловых магистралях $V_{Т.М.}$:

$$D_{Т.С.}^{nodnum} = 1,2W_{звс} + 0,0075V_{Т.С.} + 0,005V_{Т.М.}$$

Для решения этой задачи нами была разработана математическая модель и программа, которая позволяет определить величину компенсации утечек теплоносителя в системе открытого и закрытого теплоснабжения, а также термодинамические параметры теплоносителей по уравнениям состояния [1] во всех точках цепочки от места водозабора до входа в теплосеть с учетом насосов, подогревателей, химводоочистки и типа деаэратора (атмосферный, вакуумный), установленного в этой цепочки. Кроме того, определяются объемы воды в теплосети и в тепловых магистралях, диаметры тепловых магистралей, расходы пара, воды на подогреватели и деаэратор, параметры конденсата греющего пара.

Результаты расчета выдаются на печать в виде таблицы, а также для большей наглядности в виде схемы с указанием всех расходов и параметров теплоносителей по участкам схемы.

Литература

1. Ривкин С. Л., Кремневская Е. А. Уравнения состояния воды и водяного пара для машинных расчетов процессов и оборудования электростанций // Теплоэнергетика. — 1977. — № 3. — С. 69–73.

В. И. Быличкин студ.; рук Е. В. Макаревич, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ ПАРОГАЗОВОГО ЦИКЛА В ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СХЕМЕ С ЭНЕРГБЛОКОМ К-335-240

Исследована схема с надстройкой по параллельной схеме существующего конденсационного энергоблока К-335-240, работающего на Кузнецком каменном угле ($Q_{\text{нр}}=22.82$ МДж/кг), модулем ГТУ-КУ, работающим на синтез-газе ($Q_{\text{нр}}=6323$ кДж/кг), который получен с помощью газификации Кузнецкого угля [1] (рис. 1).

В табл. 1 представлены полученные результаты для рассматриваемой исходной схемы ПТУ и надстроенной схемы ПГУ.

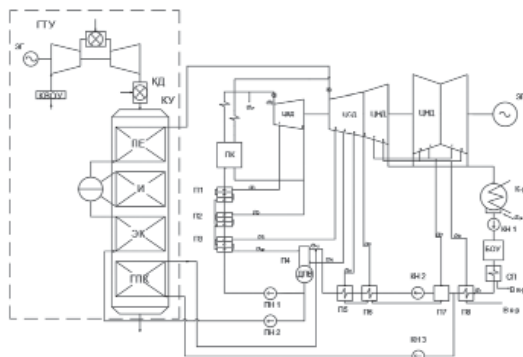


Рис. 1. Принципиальная тепловая схема ПГУ с параллельной схемой

Таблица 1. Основные энергетические показатели

Наименование	Обозначение	ПТУ	ПГУ
Общая электрическая мощность схемы, МВт	$N_{\text{э}}^{\text{общ}}$	335.0	439.8
Электрическая мощность ГТУ, МВт	$N_{\text{э}}^{\text{ГТУ}}$	-	108.5
Электрическая мощность ПТУ, МВт	$N_{\text{э}}^{\text{ПТУ}}$	335.0	331.3
КПД по выработке электроэнергии, %	$\eta_{\text{э}}^{\text{бр}}$	42.83	47.86
КПД по отпуску электроэнергии, %	$\eta_{\text{э}}^{\text{нетто}}$	39.40	44.37
Удельный расход условного топлива, кг у.т./кВт·ч	$b_{\text{уд}}$	0.312	0.277
Доля собственных нужд, %	$\text{э}_{\text{сн}}$	8.0	7.3

Мощность паровых турбин в составе ПГУ будет ниже номинальной на 1% так как часть пар подается в ЦСД, минуя ЦВД, но общая мощность блока при этом возрастет в 1,3 раза, а его экономичность по выработке электроэнергии станет существенно более высокой, чем у лучших конденсационных энергоблоков, удельный расход условного топлива снижается на 9,9%, по сравнению с паросиловым энергоблоком.

Литература

1. **Цанев С. В., Буров В. Д., Ремезов А. Н.** Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций // М.: Издательский дом МЭИ. — 2009. — Т. 584.

*Е. А. Грачев, студент;
рук. Д. В. Сиденков, к.т.н., доц. (МЭИ, Москва)*

ПРИМЕНЕНИЕ ГРУНТОВОГО ТЕПЛООБМЕННИКА В СХЕМЕ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Предполагается, что внедрение теплонасосных установок (ТНУ) позволит экономить первичное топливо и снизить «тепловое загрязнение» окружающей среды за счет эффективного использования низкопотенциальной теплоты антропогенного, техногенного и природного происхождения.

В данной работе рассматривается теплонасосная установка, дополненная грунтовым теплообменником, для использования низкопотенциальной теплоты грунтового основания [1] коттеджа в схеме подготовки воздуха системы вентиляции.

На основе созданной модели теплообменника в программе Ansys выполнено численное решение дифференциального уравнения энергии при различных граничных условиях, получены распределения температуры в различных сечениях грунтового основания (рис. 1). Представлены оценки величины теплового потока низкого потенциала и геометрические характеристики теплообменной поверхности для подогрева/охлаждения вентиляционного воздуха, согласно действующим нормативам. Выполнены расчеты тепловых схем ТНУ, обеспечивающие температурные режимы системы «атмосфера–коттедж–грунтовой теплообменник».

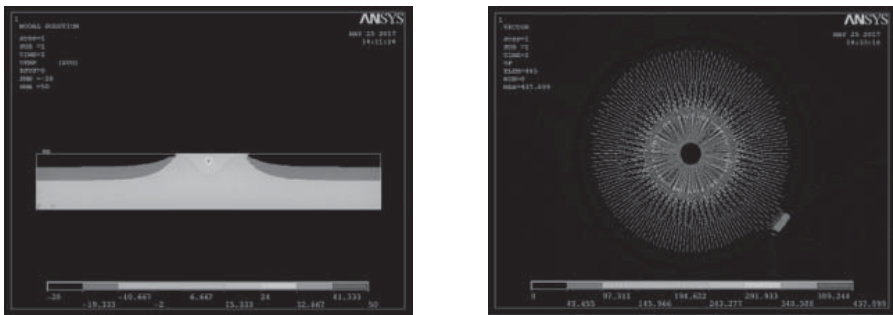


Рис. 1. Распределение поля температур и плотности теплового потока по сечению грунта

Литература

1. Energy Procedia 49 (2014) 1228 — 1237 R. Vidhia, D. Y. Goswamia, E. K. Stefanakos

В. О. Киндра, асп.; рук. Рогалев А. Н., к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ С КИСЛОРОДНЫМ СЖИГАНИЕМ ТОПЛИВА

В мире наметилась тенденция на разработку и внедрение экологически безопасных электростанций. Перспективным технологическим решением является создание замкнутых циклов газотурбинных и парогазовых установок, использующих чистый кислород в качестве окислителя. Рабочим телом в таких установках, как правило, является двухкомпонентная среда, состоящая из углекислого газа и водяного пара.

Начиная с конца прошлого века было разработано более 20 кислородно-топливных циклов. На основе термодинамического анализа установлено, что наиболее эффективной технологией является цикл Аллама, КПД нетто которого составляет 58% [1]. Столь высокая эффективность обеспечивается за счет интеграции криогенной установки производства кислорода в тепловую схему газотурбинного цикла, применения высокотемпературного регенератора, а также сжатия рабочей среды преимущественно в околоскритической области диоксида углерода (рис. 1).

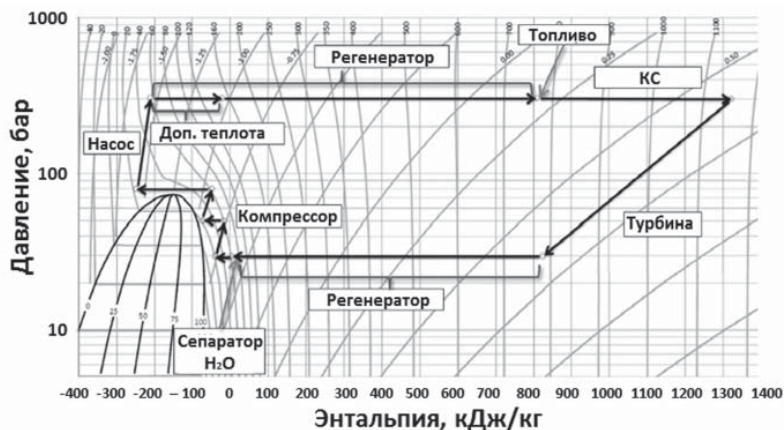


Рис. 1. Цикл Аллама в p - h -диаграмме

Исследование проведено в НИУ «МЭИ» за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-79-20371 от 28 июля 2017 г.).

Литература

1. Allam R. J. et al. High efficiency and low cost of electricity generation from fossil fuels while eliminating atmospheric emissions, including carbon dioxide // Energy Procedia. — 2013. — Т. 37. — С. 1135–1149.

Ю. А. Козлова, асп.; рук. Е. Т. Ильин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

О ВЛИЯНИИ УДЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТЕПЛОМ ПОТРЕБЛЕНИИ НА ОПТИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОФИКАЦИИ



Рис. 1. Влияние удельной выработки на тепловом потреблении на оптимальное значение коэффициента теплофикации

стью, то есть на тепловом потреблении.

В работе рассматривается влияние удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении на выбор $\alpha_{ТЭЦ(ОПТ)}$. Исследования [1] показали, что в современных условиях $\alpha_{ТЭЦ(ОПТ)}$ определяется экономической эффективностью. Наибольшее влияние при этом оказывают удельная величина капиталовложений и величина ставки дисконтирования (r).

На рис. 1 представлены результаты расчетов по определению $\alpha_{ТЭЦ(ОПТ)}$ для установок с разной величиной удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении.

Исследования показывают, что по мере роста удельной выработки на тепловом потреблении $\alpha_{ТЭЦ(ОПТ)}$ увеличивается, но даже для максимальных значений его величина не превышает 0,4. При этом его величина определяется в первую очередь коэффициентом дисконтирования. В то же время практически трехкратное увеличение выработки электроэнергии на тепловом потреблении на ПГУ по сравнению с ТГУ не приводит к такому же росту $\alpha_{ТЭЦ(ОПТ)}$, что обусловлено значительно большими затратами на эксплуатацию для ПГУ, по сравнению с паротурбинными установками.

Литература

1. Козлова Ю. А., Ильин Е. Т. Выбор оптимального значения коэффициента теплофикации при строительстве ТЭЦ в современных условиях // Теплоэнергетика глазами молодежи-2016: материалы VII Международной научно-технической конференции, 19–23 сентября 2016 г., Казань. — В 3 т. Т. 3. — Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. — 379 с.

*Е. А. Мартынов, студент;
рук. Д. В. Сиденков к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ПИКОВОГО ДОВОДЧИКА В ТНУ

Задача обеспечения требуемого температурного режима при трубопроводном транспорте теплоносителей особенно актуальна для обеспечения технологического процесса промышленных и бытовых объектов. В работе представлена математическая и компьютерная модель для расчета температурного режима пикового доводчика в теплонасосной установке, представляющего собой теплоизолированный трубопровод, оборудованный системой обогрева постоянной мощности и саморегулирующейся системой обогрева. На основе системы дифференциальных уравнений сохранения энергии в программе MathCad построены аналитические решения для расчета температуры теплоносителя в различных режимах обогрева: при постоянной мощности нагревателя (1) и при мощности нагревателя, зависящей от температуры по линейному закону (2):

$$t(z) := t_{\text{нв}} + \left(t_{\text{воды}} - t_{\text{нв}} - \frac{N}{\pi \cdot D_y \cdot k_1} \right) \cdot e^{(-A_1 \cdot z)} + \frac{N}{\pi \cdot D_y \cdot k_1} \quad (1)$$

$$t(z) := \frac{1}{\pi \cdot D_y \cdot k_1 + b} \cdot \left[\left(\pi \cdot D_y \cdot k_1 \cdot t_{\text{нв}} + a \right) + \exp \left[- \left(\pi \cdot D_y \cdot k_1 + b \right) \cdot \frac{z}{G_{\text{воды}} \cdot C_{\text{воды}}} \right] \cdot \left[\left(t_{\text{воды}} \cdot \pi \cdot D_y \cdot k_1 \right) + t_{\text{воды}} \cdot b - a \right] \right] \quad (2)$$

Получены решения для оптимального распределения тепловой изоляции по длине трубопровода, имеющего участки различного диаметра. С помощью программы ANSYS [1] выполнено численное моделирование теплового и гидродинамического режима пикового доводчика. Хорошее совпадение результатов численного моделирования с аналитическим решением позволяет рекомендовать последнее для проведения инженерных расчетов температурного режима обогреваемого теплоизолированного трубопровода, имеющего участки различного диаметра.

Литература

1. ANSYS Multiphysics 11.0 Academic Research. User's manual, 2007.

Д. У. Шарвонов, студ.;
рук. И. С. Антаненкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОЧИХ ВЕЩЕСТВ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ НУЖД ТЭС

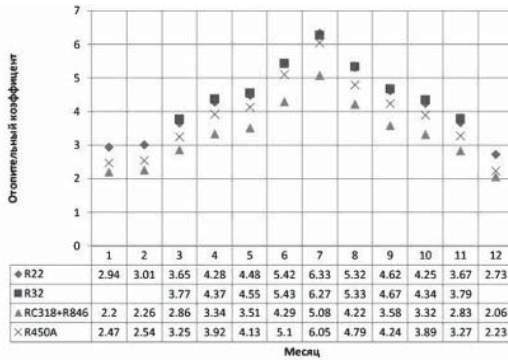


Рис. 1. Зависимость коэффициента преобразования теплоты цикла ТНУ от месяца года

ТЭС является одним из наиболее удобных систем для установки тепловых насосов при необходимости в получении дополнительной теплоты. Большое количество сбросной теплоты на ТЭС (обратная циркуляционная вода) позволяет устанавливать ТНУ различной тепловой мощности, например, для снижения тепловой нагрузки ТЭС в часы пикового электропотребления за счет замены (частичной или полной)

отбора пара турбины для подогрева сетевой или добавочной воды.

Важным фактором, оказывающим влияние на все характеристики, а также на решение комплексной задачи их оптимизации при установке ТНУ для нужд ТЭС, является выбор рабочего вещества (РВ).

Предложенная в работе [1] методика позволяет оценить эффективность применения большого количества чистых веществ и смесевых композиций в качестве рабочих тел ТНУ. В ее основе лежит условие равенства температурных напоров между теплоносителем и рабочим телом в испарителе и конденсаторе с фиксированными параметрами теплоносителей в теплообменниках. Актуальной задачей проводимого исследования является расчет и сравнение коэффициентов преобразования теплоты цикла ТНУ на базовых фреонах R22, R32 и новых альтернативных веществах — смесях RC318+R846, R450A для обеспечения подогрева сетевой воды.

Полученные результаты показали, что сравнительно высокими значениями коэффициента преобразования теплоты обладает цикл на фреоне R450A. Преимуществами данной смеси перед базовым РВ является: низкий ПГП и нулевой ОРП.

Литература

1. Сухих А. А., Антаненкова И. С. Методика сравнения термодинамической эффективности циклов холодильных и теплонасосных установок // Вестник Международной академии холода. 2012. № 4. С. 43–47.

*А. Д. Скурихина студ.;
рук. Д. В. Чугунков, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

СНИЖЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАЗРУШЕНИЯ ТРУБОК ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА

Проблема разрушения поверхностей нагрева теплообменного оборудования при длительной эксплуатации, как правило, связана с коррозией теплообменных трубок, приводящая к появлению сквозных свищей и нарушению гидравлической плотности трубных систем различных подогревателей.

Настоящая работа, проводимая при участии автора, посвящена обследованию подогревателя сетевой воды ПСГ-5000 Хабаровской ТЭЦ-3 (ХТЭЦ-3), находящегося в эксплуатации с 1986 года. По состоянию на февраль 2017 года наработка сетевого подогревателя составляла 148740 часов. Трубная система ПСГ не менялась.

В результате проведения металлографического анализа исследованных образцов поврежденных трубок, изготовленных из стали марки 12Х18Н10Т (рис. 1) установлено, что металл имеет коррозионное повреждение, и разрушение его происходит по механизму межкристаллитного растрескивания. Причиной интенсивного коррозионного растрескивания металла трубок является содержание серы в воде, которая при соединении с кислородом, растворенном в воде и самой водой образовывала серосодержащие кислоты, действие которых усиливалось высокой температурой воды.

Количество разрушенных трубок в ПСГ-5000 составляет более 6% от общего количества трубок в подогревателе. Данные трубки «заглушены» и не подлежат ремонту по результатам комплексных исследований.

Таким образом, в текущем состоянии ПСГ-5000 существенно уменьшена поверхность теплообмена, ухудшен процесс конденсации пара и увеличено гидравлическое сопротивление, что характеризует работу подогревателя в нерасчетных режимах работы, сопровождающихся периодическими остановами блока ХТЭЦ-3. В связи с этим, требуются меры, по восстановлению поверхностей нагрева сетевого подогревателя.



Рис. 1. Поврежденная трубка ПСГ-5000

Литература

1. Головин В. А., Ильин А. Б., Кузнец В. Т., Кублицкий К. В., Щелков В. А. Противокоррозионная защита и восстановление теплообменного оборудования полимерными покрытиями РОКОР // Коррозия: материалы, защита. 2003. № 7.

А. Г. Зеленин, студ.; рук. Д. В. Сиденков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ТРИГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ С ТЕПЛОВОЙ НАСОСОМ И ГЕЛИОМОДУЛЕМ



Рис. 1.
Экспериментальный
стенд «Солнечный
коллектор–
водонагреватель»

Представлена схема тригенерационной установки, включающей в себя тепловой насос и гелиомодуль (Рис. 1). Рассмотрена возможность применения различных рабочих веществ в термодинамических циклах различных частей установки с целью выбора наиболее эффективного варианта тригенерационной системы. Проведен тепловой расчет схемы гелиомодуля и теплонасосной части на выбранных рабочих веществах. Разработана методика расчета гелиомодуля [1], реализованная в пакете MathCad. Создана расчетная модель солнечного водонагревателя в пакете Ansys, что позволит проводить численное исследование полей температуры, теплового потока для оценки эффективности [2] установок подобного типа. Для выбранных рабочих веществ определена оптимальная температура подвода теплоты, подобрано теплосиловое оборудование.

Литература

1. **Brian Curtin, Scott Campbell.** Calculating the Solar Energy of a Flat Plate Collector. USA. 2014
2. **Kyoung-ho Leea, Nam-choon Baek.** A Modified Efficiency Equation of Solar Collectors. South Korea 2014

Секция 47

КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Председатель секции — к.т.н., доц. С.В. Мезин
Секретарь секции — ассистент Г.В. Фарафонов

А. А. Старостин, асп., О. С. Рыжков, асп.;
рук. В. Р. Сабанин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ГАРМОНИЧЕСКОГО БАЛАНСА ДЛЯ НАСТРОЙКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ И ПОЗИЦИОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

В [1] был предложен командный блок экстремального регулятора (далее — КБ ЭР) для реализации алгоритма поиска экстремального значения в системах автоматического регулирования промышленных объектов.

Как показали результаты исследований [2], после достижения экстремального значений, командный блок ЭР продолжает работать и стабилизируется вокруг экстремального значения, что приводит к незатухающим колебаниям. Ранее, это явление было описано [3].

Появление периодических колебаний позволяет применить метод гармонической линеаризации для анализа колебаний и устойчивости работы нелинейной системы управления.

Исследование состоит из двух частей. В первой рассматривается простейший случай АСР с КБ ЭР (рис. 1). Во второй части, основываясь на полученных данных из первой части, анализируется работа связной системы регулирования, применяющая на сложных объектах теплоэнергетического хозяйства.

Представлены результаты исследования, в виде переходных процессов, фазовых портретов и определены ограничения на применимость для каждого из рассматриваемых случая.

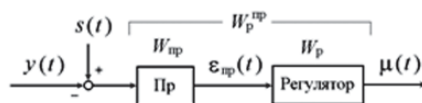


Рис. 1. Функциональная схема простейшей АСР

Литература

1. В. Р. Сабанин, В. С. Коптев, В. И. Кормилицын. Командный блок для экстремального регулятора // Патент РФ «2475797», опублик. 20.02.2013.
2. В. Р. Сабанин, А. А. Старостин, А. И. Репин, А. И. Попов. Имитационная модель парового котла со связной системой автоматического регулирования нагрузки и экономичности с экстремальным регулятором // Теплоэнергетик, 2016.

*О. С. Рыжков, асп.; А. А. Старостин, асп.;
рук. В. Р. Сабанин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧИСЛЕННЫХ АЛГОРИТМОВ И МЕТОДА ГАРМОНИЧЕСКОЙ ЛИНЕАРИЗАЦИИ ПРИ НАСТРОЙКЕ АСР С НЕЛИНЕЙНЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

В работе представлены результаты сравнительного анализа качества работы автоматических нелинейных систем регулирования (АСР) с линейным объектом регулирования и оптимальные настройки нелинейных ПИ- и ПИД-регуляторов, которые найдены с использованием методов гармонического баланса (МГБ) и имитационной динамической модели АСР универсального назначения [1].

При оптимизации использованы две группы показателей качества работы АСР. Первая, в классическом рассмотрении, интеграл по модулю при ограничении на степень затухания. Они обеспечиваются параметрами линейного алгоритма регулирования, которые могут быть найдены по имитационной модели численным алгоритмом оптимизации [1]. Вторая, инновационная, разрабатывается и исследуется для формализации настройки параметров нелинейных элементов с использованием МГБ [2]. Целью этих настроек является обеспечение показателей устойчивости по второй теореме А.М. Ляпунова. Это число включения ИМ и амплитуда высокочастотных колебаний регулируемой величины в окрестности заданного значения, возбуждаемые нелинейными элементами: зоной нечувствительности, широтно-импульсным модулятором (ШИМ), реле и исполнительным механизмом (ИМ) с постоянной скоростью [3].

Литература

1. **Сабанин В. Р., Смирнов Н. И., Репин А. И.** Модифицированный генетический алгоритм для задач оптимизации и управления // *Exponenta Pro. Математика в приложениях.* 2004 г. № 3–4. С. 78–85.
2. **Попов Е. П.** Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления: Учебное пособие // 2-е изд. М.: Наука 1988 г. С. 256.
3. **Андрюшин А. В., Сабанин В. Р., Смирнов Н. И.** Управление и инноватика в теплоэнергетике: учебное пособие // Издательский дом МЭИ. М. 2011 г. С. 392.

*К. С. Андреева, С. А. Заболотько, студенты,
рук. А. Н. Проценко, к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ В ELCUT СКАНИРУЮЩЕГО ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

Индукционный нагрев — один из самых распространенных и часто применяемых видов промышленного нагрева. Сканирующий индукционный нагрев представляет собой электрическую индукционную поступательную термическую обработку изделия. Этот процесс заключается в прохождении изделия через один или несколько сканирующих индукторов. [1].

Анализ работы систем сканирующего индукционного нагрева возможно осуществить только расчетными методами с помощью использования вычислительной техники. Известно, что при термовоздействии в установке сканирующего индукционного нагрева протекают взаимосвязанные электромагнитные и тепловые процессы. Их можно описать нелинейными дифференциальными уравнениями.

Одним из наиболее доступных программных продуктов, с помощью которых осуществляют анализ работы систем сканирующего индукционного нагрева, является программа ELCUT. В сочетании с электронно-вычислительной машиной (ЭВМ) средней мощности она осуществляет расчет электромагнитных и тепловых полей. Также с помощью программы ELCUT возможно провести исследование сканирующей ИНУ для нагрева цилиндрических стальных заготовок. Моделирование сканирующего ИНУ подразумевает совместное решение двух задач: электромагнитной и тепловой. Для этого в программе ELCUT предусматривается ряд команд, связанных между собой. Последовательное решение этих задач позволяет рассматривать непрерывное движение индуктора как ряд последовательных статических положений. Отсюда рассматриваемая модель может состоять не из одного, а из нескольких одновитковых индукторов. Это, по сути, является дискретной аппроксимацией непрерывного движения индуктора. А возможность управлять точно аппроксимации осуществляется с помощью изменения плотности и количества расположения индукторов [2].

Литература

1. **Вайс Куно, Фишман О. С.** Патент «Сканирующий индукционный нагрев». H05B6/08, Владельцы патента RU 2366117: ИНДАКТОТЕРМ КОРПОРЕЙШН (US).
2. **Гладков А. А., Проценко А. Н.** Моделирование нагрева сканирующего индуктора с помощью программы ELCUT. Материалы докладов XX аспирантско-магистерского семинара, КГЭУ. Казань, 2016 г.

*В. А. Артюшин, студент;
рук. И. А. Щербатов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ РОБАСТНОСТИ ПИД РЕГУЛЯТОРА С НЕЙРОСЕТЕВЫМ БЛОКОМ АВТОНАСТРОЙКИ

В настоящее время нейронные сети находят широкое применение, в том числе, для создания блоков автонастройки ПИД регуляторов. Одним из недостатков использования нейросетевого блока автонастройки является невозможность предсказания его поведения при воздействиях не входящих в обучающую выборку и невозможность оценки робастности регулятора [1].

Исследуемая автоматическая система регулирования представляет собой одно-контурную систему регулирования с ПИД регулятором и нейросетевым блоком автонастройки. В качестве объекта выступает последовательное соединение апериодического звена и одного чистого запаздывания. Для данной системы были найдены настройки регулятора, обеспечивающие заданные показатели качества и синтезирована обучающая выборка для нейросетевого блока автонастройки.

С целью исследования качества процесса и оценки робастности регулятора, был проведен эксперимент, в котором параметры объекта варьируются до 30%. Были оценены следующие показатели качества: динамическое отклонение, статическое отклонение, время регулирования и степень затухания.

Нейросетевой блок автонастройки ПИД регулятора реализован в среде MATLAB/SIMULINK с использованием графического интерфейса Neural Network Time Series Tool [2]. Результаты моделирования показывают, что данная система позволяет сохранять показатели качества регулирования, в удовлетворительном состоянии, несмотря на возмущения со стороны объекта.

Литература

1. **Денисенко В. В.** — Современные технологии автоматизации 1/2007 — М.: Издательство «СТА-ПРЕСС», 2007
2. **Медведев В. С., Потемкин В. Г.** — Нейронные сети. MATLAB 6. / Под общ. ред. В. Г. Потемкина М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2001. — 630 с. — (Пакеты прикладных программ; Кн. 4).

И. А. Болдинов, асп.; рук. В. А. Биленко, д.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ НАСТРОЙКА ДВУХКОНТУРНОЙ АСР ПРИ ОТСУТСТВИИ ЧАСТОТНОЙ РАЗВЯЗКИ КОНТУРОВ

На объектах современной теплоэнергетики широко распространены АСР с дополнительными опережающими сигналами. Большинство из них имеет существенную разницу в динамике каналов объекта, что позволяет выполнить раздельную наладку контуров методами настройки одноконтурной АСР, в том числе алгоритмами автонастройки. Однако имеют место также системы регулирования, где динамика каналов объекта близка. Как правило это касается наиболее ответственных и сложных регуляторов (например многоконтурная система регулирования температуры острого пара на традиционных энергоблоках [1]).

Сложность организации автоматизированной настройки таких АСР известными методами заключается в сильной зависимости формы частотных характеристик эквивалентных объектов внутреннего и внешнего от соотношения инерционностей каналов объекта. В свою очередь это вызывает сильный разброс значений резонансных характеристик замкнутой системы при оптимальных настройках — параметров, используемых в качестве косвенных критериев оптимальности при настройке в частотной области. Применение алгоритма автонастройки с фиксированными значениями параметров настроечной модели и критериев оптимальности не дает устойчивых процессов регулирования [2].

В данной работе предлагается метод синтеза настроечной модели для АСР с подобными объектами, а также алгоритм автонастройки с применением коррекции по предварительной оценке соотношения инерционностей. Произведен сравнительный анализ результатов работы алгоритмов автонастройки с коррекцией и без коррекции по соотношению инерционностей для двухконтурной АСР с дифференциатором. Как показывают результаты, новый алгоритм позволяет существенно расширить диапазон объектов, для которых возможно применение автоматизированной настройки.

Литература

1. **Биленко В. А.** Многоконтурные автоматические системы регулирования с несколькими регулирующими воздействиями и их применение для поддержания температуры пара прямоточных котлов // Теплоэнергетика. 2011. № 10.
2. **Болдинов И. А.** Автоматизация настройки двухконтурной системы регулирования со сложным дифференциатором // Вестник МЭИ. 2015, № 3.

*Д. Д. Черников, Г. Ю. Осипов, студенты;
рук. В. П. Зверьков, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ С РЕЛЕЙНО-ИМПУЛЬСНЫМ ПИД-РЕГУЛЯТОРОМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ КРИТЕРИЯХ НАСТРОЙКИ

При разработке и наладке систем автоматического управления актуальной проблемой является параметрический синтез, в результате которого получают оптимальные значения параметров настройки применяемого регулятора.

Общепринятая методика настройки промышленных регуляторов предусматривает решение двух задач [1]: определения в пространстве параметров регулятора границы области заданного запаса устойчивости разрабатываемой системы управления, и поиск на этой границе точки минимума линейного интегрального критерия качества переходных характеристик системы.

Применение современных средств вычислительной техники позволяет объединить решение этих задач путем оптимизации настройки регуляторов по ряду нетрадиционных интегральных критериев, отличающихся видом подынтегральных функций.

На основе анализа возможных вариантов реализации ПИД-регулятора [2] с ИМ постоянной скорости выбрана структурная схема регулятора. Выполнено моделирование работы этого релейно-импульсного ПИД-регулятора в системе регулирования температуры перегретого пара высокого давления котла-утилизатора ПГУ-450Т. Проведена оптимизация параметров динамической настройки регулятора по различным критериям [3] с помощью численных методов поиска минимума значения интегральных критериев в пространстве параметров настройки регулятора. Определены показатели качества переходных процессов системы.

Результаты исследования позволяют оценить эффективность работы релейно-импульсного ПИД-регулятора, настроенного по различным критериям с учетом особенностей реализации исполнительской части системы регулирования.

Литература

1. **В. Я. Рогач.** Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами // М., Энергоатомиздат. 1985
2. **К. J. Åström, T. Hägglund.** PID Controllers: Theory, Design and Tuning, Instrument Society of America // USA. 1995
3. **В. П. Зверьков, Ю. Н. Петровичко.** Системы автоматического управления динамическими объектами с ПИД-регулятором в режиме нормальной эксплуатации // Новое в российской энергетике, 4' 2017 стр. 25–36

*М. В. Дергачева, К. А. Середин, студенты;
рук. С. В. Мезин, к.т.н., доц.;
И. А. Щербатов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ В БАРАБАНЕ КОТЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

В качестве объекта управления в данном исследовании выступает котел БКЗ-320-140. В работе реализовано регулирование питания водой котельных агрегатов, которое сводится к поддержанию материального баланса между отводом пара и подачей воды. Ключевым технологическим параметром, характеризующим баланс, является уровень воды в барабане котла. Надежность работы котельного агрегата во многом определяется качеством регулирования уровня. Изменение уровня воды в барабане практически не оказывает влияние ни на поступление воды в котел, ни на расход пара из котла. Поэтому паровой котел не обладает свойством самовыравнивания. В этой связи актуальной научной и практической задачей является разработка системы регулирования, которая обеспечивает повышение эффективности управления рассматриваемым объектом в сравнении с существующими системами.

Явление набухания и отсутствие самовыравнивания затрудняет регулирование уровня в барабане котла [1]. Поэтому в рамках настоящего исследования синтезирована и реализована система управления уровнем в барабане котла с использованием нечеткого ПИД-регулятора, а также проведено ее сравнение с трехимпульсной АСР, содержащей стабилизирующий и корректирующий регуляторы и компенсатор. При расчете традиционной трехимпульсной АСР присутствует небольшое перерегулирование. С целью исключения перерегулирования был реализован нечеткий ПИД-регулятор, использующий нечеткий логический вывод типа Мамдани. Число термов входных лингвистических переменных равно 7, а общее число продукционных правил регулятора составляет 49.

Нечеткий регулятор реализован в среде инженерных расчетов MATLAB с использованием пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox [2]. Результат проведенного имитационного моделирования — повышение эффективности регулирования уровня в барабане котла за счет уменьшения динамического отклонения, перерегулирования, а также объединения преимуществ ПИД-регулирования и нечеткого логического вывода.

Литература

1. **Плетнев Г. П.** Автоматизированные системы управления объектами тепловых электростанций: Учебник для вузов / М.: Издательство МЭИ, 2007.
2. **Леоненков А. В.** Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTECH / СПб.: БХВ-Петербург, 2005.

В. В. Гурьянова, студ.;
рук. И. А. Щербатов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

Согласно [1] одним из ключевых показателей для оценки технико-экономического состояния объектов электроэнергетики является их техническое состояние (ТС). Последнее определяется при проведении диагностических работ на объекте, в результате которых происходит сбор контрольно-диагностической информации, необходимой для оценки ТС. Мероприятия обычно являются плановыми и не позволяют определять техническое состояние объекта в режиме, близком к реальному времени.

В данной работе для определения ТС объекта используются экспертные знания, накопленные в процессе эксплуатации оборудования, формализованные на основе производственных правил. Они позволяют оценивать изменение ТС (выход модели) в зависимости от меняющихся во времени параметров и возникающих в процессе функционирования дефектов (входы модели). Для реализации зависимости выходных величин от входных использован алгоритм нечеткого вывода Мамдани. На основании разработанной модели в соответствии с четкими количественными значениями на входе модели на ее выходе вычисляется количественная оценка технического состояния единицы оборудования. Процесс нечеткого моделирования реализован в среде MATLAB в пакете Fuzzy Logic Toolbox, предназначенном для проектирования и исследования систем на нечеткой логике [2].

По мере накопления данных об объекте диагностирования в процессе его функционирования производится адаптация модели корректировкой отдельных ее составляющих элементов, в том числе базы производственных правил.

Таким образом, располагая данными о параметрах и дефектах оборудования, персонал, занимающийся определением его ТС, с использованием модели может значительно сократить время на проведение процедуры диагностики, а также осуществить прогноз даты проведения ремонта или вывода оборудования из эксплуатации.

Литература

1. О комплексном определении показателей технико-экономического состояния объектов электроэнергетики, в том числе показателей физического износа и энергетической эффективности объектов электросетевого хозяйства, и об осуществлении мониторинга таких показателей. Постановление Правительства РФ от 19.12.2016 г. № 1401.
2. **Леоненков А. В.** Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.

Хоанг Ван Ва, асп.;

рук-ли к.т.н, доц. В. Ф. Кузицин, к.т.н, доц. Е. И. Мерзликينا

АНАЛИЗ АСР С АЛГОРИТМОМ МАКСИМАЛЬНОГО БЫСТРОДЕЙСТВИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИЛИ ЗАПРЕТОМ РЕВЕРСА РЕГУЛИРУЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Рассматривается АСР с алгоритмом максимального быстродействия (АМБ) [1] для объектов с запаздыванием при изменении задания. Для АМБ требуется модель объекта с блоком прогноза. При работе системы с АМБ в конце переходного процесса могут возникать автоколебания. Предлагается структура АСР, содержащая блок автоматической настройки регулятора (АНР) [2] для расчета модели объекта и параметров ПИД-регулятора, АМБ, ПИД-алгоритм и блок прогноза. Используется модель объекта второго порядка с запаздыванием. Число переключений при работе АМБ теоретически должно быть равно двум. Затем производится переход на ПИД-регулирование. Рассматривается, необходимо ли второе переключение (АМБ с реверсом и без него). Переходные процессы приведены на рис. 1, где 1 — задание SP ; 2 — регулирующее воздействие MV в АСР с ПИД-регулятором; 3 — регулирующее воздействие MV в АСР с ПИД-регулятором и АМБ; 4 — регулируемая переменная PV в АСР с ПИД-регулятором; 5 — процесс PV в АСР с АМБ и ПИД-регулятором.

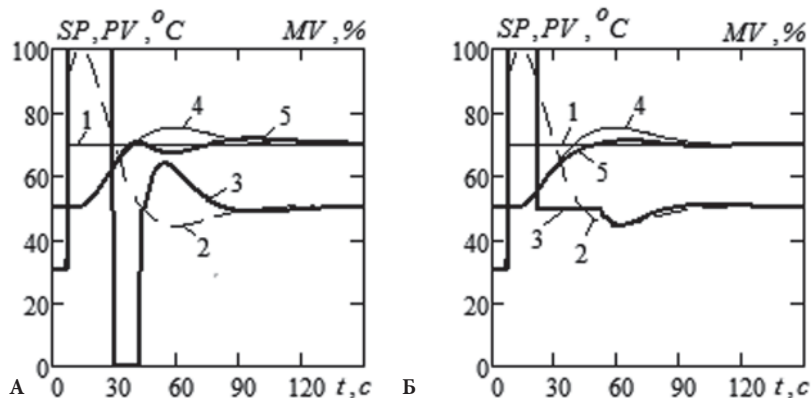


Рис. 1. Переходные процессы в АСР с АМБ и ПИД. А — с реверсом, Б — без него

Получено, что, что в АСР с реверсом качество хуже, чем без реверса, то есть после первого переключения можно включать ПИД-регулятор.

Литература

1. Аракелян Э. К., Пикина Г. А. Оптимизация и оптимальное управление // М.: Издательство МЭИ, 2003.
2. Кузицин В. Ф., Царев В. А. Алгоритмы ускоренной автоматической настройки регуляторов с оценкой модели объекта по его реакции на импульсное воздействие и в режиме автоколебаний // Теплоэнергетика. 2014. № 4. С. 35–44.

*И. Ю. Казьмирук, Д. А. Дементьев, студенты;
рук. В. Р. Сабанин, к.т.н., доц.,
рук. С. В. Мезин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В КАЧЕСТВЕ АДАПТИВНОГО РЕГУЛЯТОРА

Технологии адаптивного регулирования позволяют полностью автоматизировать процесс настройки контуров регулирования технологических объектов управления с различными видами и величинами запаздывания. Адаптивный регулятор позволяет избавиться от использования обычных методов идентификации динамики объекта и расчета оптимальных параметров настройки регуляторов [1].

В данном исследовании в качестве адаптивного регулятора была выбрана нейронная сеть, которая обучается при помощи метода обратного распространения ошибки. За объект были взяты три апериодических звена и звено запаздывания.

В качестве индикаторов для корректирования весовых коэффициентов нейрорегулятора были приняты следующие величины:

- Предельно допустимое значение регулируемой величины.
- Предельно допустимая скорость изменения регулируемой величины.
- Предельно допустимое ускорение изменения регулируемой величины.

В результате исследования были получены:

- Графики сравнения изменения регулируемой величины при воздействии случайных возмущений по каналу регулирования с использованием адаптивного регулятора и ПИД регулятора.
- Графики сравнения изменения регулируемой величины с использованием адаптивного регулятора и ПИД регулятора при изменении свойств объекта, а именно изменение постоянных времени и времени запаздывания.

Литература

1. **А. В. Андрюшин, В. Р. Сабанин, Н. И. Смирнов.** Управление и инноватика в теплоэнергетике. М.: Издательский дом МЭИ, 2011, — 392 с.: ил.

В. С. Леонтьев, асп.; рук. Г. А. Пикина, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОТОЧНЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ВТОРИЧНОГО ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ КОТЛА ТГМП-314

Задачей является разработка высокоточных моделей с сосредоточенными параметрами на примере вторичного пароперегревателя котла.

Приведенная в [1] модель с распределенными параметрами имеет высокую точность, однако сложна для использования при моделировании замкнутых систем автоматического регулирования.

Модель с сосредоточенными параметрами СП, полученная традиционным способом интегрирования дифференциальных уравнений по пространственной координате, проста, но имеет низкую точность.

Для объединения достоинств обеих моделей предлагается принципиально новый подход — приближение комплексных частотных характеристик аппроксимирующей СПА и распределенной РП моделей. Структура СПА-модели должна быть по-возможности простой.

В качестве таких структур по основному и вспомогательному каналам двухконтурной АСР приняты соответственно

$$W_{\text{осн}}(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1} e^{-\tau_1 p} \quad \text{и} \quad W_{\text{всп}}(p) = \frac{k_2 (T_3 p + 1)}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} e^{-\tau_2 p}.$$

Как видно из рис. 1 и 2, задача совмещения простоты и точности решена.

Примечание. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 14-19-01772).

Литература

1. Леонтьев В. С., Пикина Г. А. Сравнительный анализ моделей вторичного пароперегревателя котла ТГМП-314. Тез. докл. 22 междунар. конф. «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». МЭИ, 2016. С. 181.

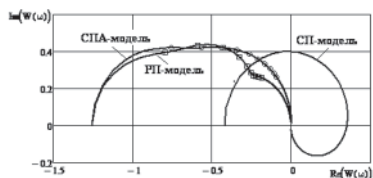


Рис. 1. Годографы КЧХ моделей

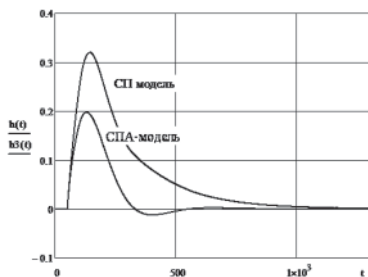


Рис. 2. Процессы регулирования

Н. Локшина, студ.; рук. Г. А. Пикина, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИНЦИП УПРАВЛЕНИЯ ПО ПРОГНОЗУ В ДВУХСВЯЗНОЙ СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Реализован принцип управления по прогнозу в двухсвязной системе регулирования экономичности процесса горения котла БКЗ-320, включающей одноконтурную схему регулирования давления пара перед турбиной и двухконтурную схему содержания кислорода, исходные данные для которых взяты из [1]:

$$W_{p_{T,F_r}} = 7,6 \frac{e^{-10s}}{290s + 1}; \quad W_{O_2,F_r} = -0,69 \frac{e^{-10s}}{1 + 30s}; \quad W_{O_2,F_B} = 0,075 \frac{e^{-13s}}{1 + 30s}.$$

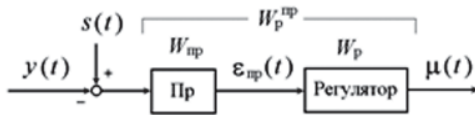


Рис. 1. Прогностический регулятор

точная функция которого равна $W_{пр}(s) = 1 + s\tau_{пр}$. На рис. 1 показана схема прогностического регулятора.

Идеальный компенсатор содержит элемент упреждения e^{+3s} , который был реализован линейным прогнозом.

Проведено исследование качества и сопоставительный анализ обычных и прогностических связных систем регулирования. Показано, что только за счет перехода к прогностическим регуляторам удается в два раза уменьшить диапазон отклонения регулируемых величин, а использование компенсатора влияния с прогнозом при действии возмущений по топливу позволяет ограничить диапазон отклонения содержания кислорода практически на порядок.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 14-19-01772).

Литература

1. Давыдов Н. И., Григоренко А. А. Локальный тренажер на базе ПТК КВИНТ для задач регулирования теплофикационного энергоблока с турбиной ПТ-80 // Труды междунар. научн. конф. CONTROL-2003. М.: Изд-во МЭИ. 2003. С. 61–70.
2. Ротач В. Я. Теория автоматического управления. М.: Издательство МЭИ, 2007.

*Мисоедова Е. Ю. студент;
рук. Ситников С. Ю. к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

На данный момент теплоэнергетические установки, в частности паровые и водогрейные котлы, работают по средствам составленной «режимной карты». Она составляется на определенную удельную теплоту сгорания (УТС) топлива (природный газ), которая задается поставщиком и считается постоянной. Изменение состава топлива приводит к нестабильности процесса горения и нарушению работы теплоэнергетической установки. Приборами непрерывного анализа состава топлива, на данный момент, котельные не оснащены. Поэтому остается актуальным вопрос о внедрении к существующей системе автоматизации программного комплекса способного автоматически регулировать процесс горения непрерывно с минимальным интервалом по времени инерции котла.

Цель работы заключается в создании десктопного приложения, на основе алгоритма оптимизации процесса горения, которое сможет взаимодействовать с любым микроконтроллерным оборудованием. Цель работы соответствует Энергетической стратегии РФ в период до 2030 г., в которой приоритетным направлением в развитии энергетики является снижение удельных затрат топлива, за счет применения энергосберегающих технологий и оборудования.

Разработка программного комплекса осуществляется на лабораторной стенде «Моделирование процесса горения углеводородного топлива переменного состава». Программная часть включает в себя взаимодействие двух сред разработки: Arduino IDE и Visual Studio. Передача данных между двумя оболочками осуществляется с помощью виртуального СОМ-порта, и средствами работы с ним, указанными в пользовательском приложении, например, пространства имен, для передачи данных и управляющих сигналов между Arduino и приложением; классы и свойства для работы с последовательным портом; для предоставления ресурсов последовательного порта приложению; для обозначения скорости передачи данных и др.

Перспективой разработки программного комплекса является повышение эффективности работы теплоэнергетических установок и использование программного комплекса на установках для сжигания топлив переменного состава (попутный нефтяной газ, отходы нефтехимических производств, синтез газ, биогаз и др.).

А. А. Мошкин студент;
рук. В. М. Парчевский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ДВУХМЕРНОЙ СЕПАРАЦИОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПГ АЭС С ВВЭР 1000

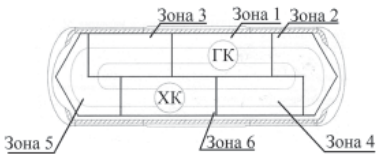


Рис. 1. Схема разбиения зеркала испарения ПГ на зоны

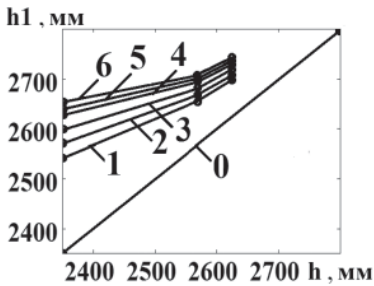


Рис. 2. Зависимость массового уровня от показаний уровнемера регулируемого уровня при различной нагрузке

Для управления уровнем h в парогенераторе (ПГ) обычно используют его одномерную сепарационную характеристику $\omega(h)$, где ω — влажность выхода пара [1], справедливую только для одного значения паровой нагрузки d (обычно номинальной), но в связи с необходимостью включения АЭС в регулирование частоты и мощности энергосистем, необходима разработка двухмерной сепарационной характеристики (ДСХ) $\omega(h, d)$, пригодной для работы при переменных нагрузках. В ДСХ влажность зависит не только от уровня, но и от нагрузки.

Для получения ДСХ необходимо располагать математической моделью зависимости максимального значения массового уровня h_1 вблизи «горячего» коллектора (ГК) первой зоны от показаний уровнемера регулируемого уровня h в пятой зоне (см. рис. 1) и нагрузки d , что является предметом данной работы. Модель представлена в виде эмпирической формулы:

$$h_{1h} = a_h + b_h \cdot d,$$

где $a_h = a_1 + a_2 \cdot d$, $b_h = b_1 + b_2 \cdot d$, a_1, a_2, b_1, b_2 — постоянные коэффициенты, соответствующие значению регулируемого уровня в ПГ.

ДСХ может быть использована: при работе в реальном масштабе времени для реализации различных сценариев управления влажностью при работе АЭС в режиме регулирования частоты и мощности в энергосистеме; для разработки программного обеспечения тренажеров; в учебных целях.

Литература

1. Трунов Н. Б., Логвинов С. А., Драгунов Ю. Г. Гидродинамические и теплохимические процессы в парогенераторах АЭС с ВВЭР. — М.: Энергоатомиздат, 2001

А. А. Плешанова, студент; рук. Е. И. Мерзликина, доц (НИУ «МЭИ»)

АСР С ПРЕДИКТОРОМ СМИТА И ПИ-РЕГУЛЯТОРОМ: АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Изначально предиктор Смита [1] был предложен для автоматической системы регулирования (АСР) с ПИД регулятором. Однако по сей день ПИ-алгоритм в промышленности используется чаще, чем ПИД, поэтому имеет смысл проанализировать качество работы АСР с ПИ-регулятором и предиктором Смита. В качестве объекта регулирования примем объект с запаздыванием и самовывравниванием, его передаточная функция третьего порядка имеет вид:

$$W_{ob}(s) = \frac{K_{ob}e^{-s\tau}}{(T_1 + 1)(T_2 + 1)(T_3 + 1)}$$

Было принято, что модель объекта имеет второй порядок, ее параметры были найдены методом проведения касательной в точке перегиба переходной характеристики объекта [2]. Для имитации реальных условий максимального совпадения характеристик модели и объекта не добивались. На рис. 1 представлены переходные процессы в исходной АСР (1) и в АСР с предиктором Смита (2) по каналу задания (левый график) и каналу регулирования (правый график).

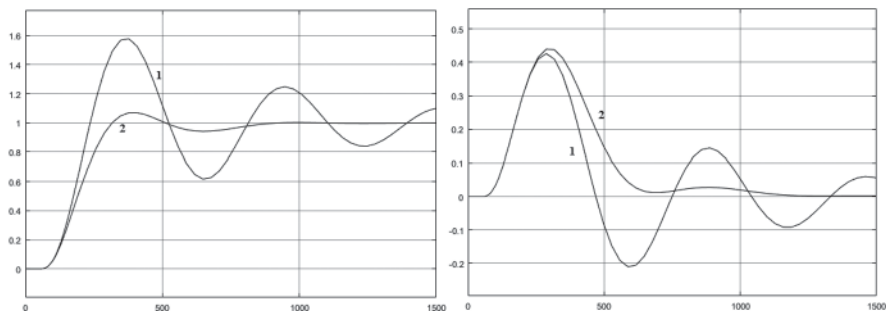


Рис. 1. Переходные процессы в АСР с ПИ-регулятором и предиктором

Из рис. 1 видно, что применение предиктора Смита может быть эффективно при работе в составе АСР с ПИ-алгоритмом; запас устойчивости не ухудшается. При этом современные программные и технические средства позволяют обеспечить необходимое для качественной работы системы периодическое обновление параметров модели и параметров настройки ПИ-алгоритма.

Литература

1. Стафейчук Б. Г. Автоматическое регулирование тепловых объектов с запаздыванием дис. канд. тех. наук. М., 1970.
2. Рогач В. Я. Теория автоматического управления. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 396 с.

*Е. В. Повальнова, студ.;
рук. Г. А. Пикина, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

О ПРОБЛЕМЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ В СИСТЕМАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО БЫСТРОДЕЙСТВИЯ

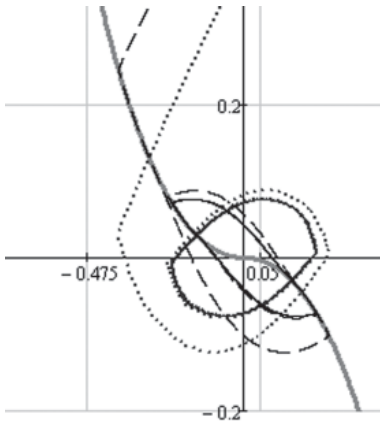


Рис. 1. Фазовые траектории

Алгоритм максимального быстродействия признан учеными разных стран как лучший, т.к. кроме оптимума по времени переходного процесса он может обеспечивать и минимум дисперсии регулируемой величины.

При моделировании системы максимального быстродействия обнаружена возможность появления автоколебаний. Задачей работы является синтез и моделирование системы максимального быстродействия экономичности процесса горения, выявление причин возникновения таких режимов и способов их устранения.

В результате синтеза получен алгоритм максимального быстродействия:

$$\sigma = x_1 - k \cdot x_2 - \text{sign}(x_2) \cdot k \cdot U \cdot \frac{T_2}{T_1} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\text{sign}(x_2) \cdot T_1 \cdot x_2}{U \cdot T_2}} \right)$$

Моделирование системы проводилось в среде Mathcad 15.

Выявлены основные причины возникновения автоколебаний: неучтенное запаздывание в объекте, шаг дискретности по времени, неверный выбор размеров зоны нечувствительности.

Предложены способы устранения автоколебательных процессов.

Литература

1. Аракелян Э. К., Пикина Г. А. Оптимизация и оптимальное управление. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. Сю Д., Мейер А. Современная теория автоматического управления и ее применение. М.: Машиностроение, 1972.

*Я. В. Рыжкина, И. Н. Каюмов, студенты;
рук. О. М. Проталинский, д.т.н. проф. (НИУ «МЭИ»)*

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА НА ВЫХОДЕ ИЗ КОТЛА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

В настоящее время продолжается внедрение систем управления с цифровой реализацией регуляторов. К таким регуляторам, в частности, относятся так называемые нечеткие регуляторы (fuzzy-регуляторы). В работе реализован fuzzy-регулятор, который включен в контур системы регулирования вместо традиционного ПИ-регулятора.

В качестве нечеткого логического вывода обоснован выбор алгоритма Мамдани. Так же и другие подобные алгоритмы он работает по принципу «черного ящика». На вход поступают количественные значения сигнала рассогласования и его производная, а на выходе формируется управляющее воздействие. На промежуточных этапах используется аппарат нечеткой логики и теория нечетких множеств. Применение нечеткого регулятора обеспечивает повышение качества регулирования объектов с большим значением постоянной времени.

Объект управления паровой тракта котла БКЗ-320-140. Известно, что двухконтурные системы регулирования обеспечивают высокую эффективность в тех случаях, когда вспомогательные регулируемые величины систем быстрее, чем основные, реагируют на возмущения, идущие по каналам регулирующих воздействий. К таким системам относится система автоматического регулирования температуры перегретого пара на выходе из котла.

В данной работе проведено исследование АСР с традиционным регулятором [1] и АСР с нечетким регулятором.

При последовательном соединении двух апериодических звеньев и звена запаздывания отношение τ/T велико. Применение нечеткого регулятора для объекта управления, обладающего указанным свойством позволяет повысить качество переходного процесса. Нечеткий регулятор реализован в среде инженерных расчетов MATLAB с использованием пакета расширения FuzzyLogicToolbox [2].

Результатом работы является повышение качества переходных процессов в системе с нечетким регулятором.

Литература

1. **Ротач В. Я.** Теория автоматического управления, Учебник. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. **Шговба С. Д.** Проектирование нечетких систем средствами MATLAB, М.: Горячая линия — Телеком, 2007.

Д. В. Самсаков, студ.; рук. В. А. Биленко, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

При создании современных АСУТП и автоматизации технологических объектов управления особые требования предъявляют к регулирующей арматуре. Это связано прежде всего с тем, что качество работы систем автоматического управления значительно зависит от характеристик регулирующих органов. В условиях эксплуатации ТЭС регулирующие органы воздействуют на изменение расходов жидкого, газообразного, твердого и пылевидного топлива, воды, пара, газа и воздуха. Воздействие регулирующего органа определяют его статическими характеристиками: диапазоном регулирования и рабочей расходной характеристикой. В реальных условиях расходная характеристика РО зависит от множества факторов: нелинейность связи между приводом и регулирующим органом, износ внутренних поверхностей клапана и др. Для обеспечения работы АСР необходимо избавиться от нелинейности в РО [1].

В данной работе рассматривались АСР с типичными нелинейными расходными характеристиками и были предложены методы компенсации нелинейности. Исследована система с нелинейными расходными характеристиками регулирующего органа — равнопроцентной, S-образной, шиберов. Также были предложены и исследованы методы компенсации нелинейности, а именно: коррекция k_p регулятора для компенсации нелинейности, применение АСР с дополнительным контуром стабилизации расхода с частотной развязкой контуров, коррекция k_p регулятора в АСР с дополнительным контуром стабилизации расхода с частотной развязкой контуров. Были проведены соответствующие расчеты и построены графики переходных процессов.

Были выявлены плюсы и минусы рассматриваемых методов. Проанализировав графики, полученные в ходе моделирования АСР, можно сказать, что наилучшим, как и предполагалось, оказался метод, коррекции k_p регулятора в АСР с дополнительным контуром стабилизации расхода с частотной развязкой контуров.

Литература

1. **Тверской Ю. С., Маршалов Е. Д.** Оптимизация характеристик регулирующих органов в системах автоматического управления // Вестник ИГЭУ. 2010. Вып. 4. С. 1–5.

*К. А. Середин, М. В. Дергачева, студенты;
рук. И. А. Щербатов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

КОРРЕКТИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО НА БАЗЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ ОСТРОГО ПАРА

Поддержание температуры острого пара в заданных пределах обеспечивает экономичную работу тепловой установки, повышает надежность и долговечность турбины. При резком снижении температуры перегретого пара возрастает его влажность, при повышении температуры возникают недопустимые тепловые расширения, поэтому отклонения температуры пара от номинальных значений не должны превышать 1% в стационарных режимах.

Автоматическая система регулирования температуры перегретого пара представляет собой двухконтурную систему регулирования с дифференциатором [1]. Для данной системы были найдены настройки регулятора и построены переходные процессы. На их основании были рассчитаны показатели качества работы системы.

С целью улучшения показателей качества регулирования двухконтурной автоматической системы регулирования температуры острого пара с дифференциатором, в работе выполнен расчет аналогичной автоматической системы регулирования с добавлением блока корректирующего устройства. Разработанная система включает в себя корректирующее устройство, построенное на базе теории нечеткой множеств и нечеткой логики, которое осуществляет подстройку параметров регулятора. Одним из основных результатов работы является то, что применение корректирующего устройства позволяет повысить запас устойчивости и качество системы автоматического регулирования.

Нечеткий регулятор, реализован в среде MATLAB с использованием графического интерфейса Fuzzy Logic Toolbox [2]. Результаты имитационного моделирования на ЭВМ показывают, что предложенная система с корректирующим устройством обеспечивает заданные показатели качества регулирования, несмотря на меняющиеся возмущения.

Литература

1. **Ротач В. Я.** Теория автоматического управления: учебник для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. **Штовба С. Д.** Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. — Винница: Изд-во Винницкого государственного технического университета, 2007.

Д. Н. Шпылык, студ.; рук. Г. А. Пикина, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ДЛЯ ОБЪЕКТА С РЕЗОНАНСНЫМИ СВОЙСТВАМИ

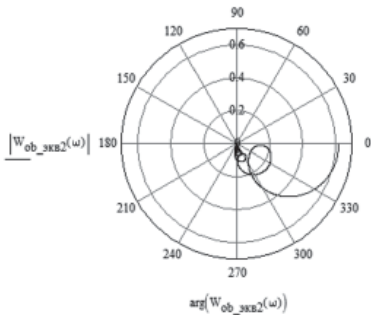


Рис. 1. КЧХ эквивалентного объекта

При решении задачи параметрического синтеза двухконтурной АСР вторичного пароперегревателя прямоточного котла ТГМП-344А, обладающей резонансными свойствами, выявлен принципиальный недостаток общепринятого метода [1] на частотный показатель запаса устойчивости M : рекомендуемая для расчета частота первого максимума вспомогательной функции дает отрицательные параметры настройки.

Передаточные функции принятой в расчете аппроксимирующей модели по основному и вспомогательному каналам имеют вид

$$W_{\text{осн}}(s) = \frac{k}{Ts + 1} e^{-st_1}; \quad W_{\text{всп}}(s) = \frac{k_2(T_3s + 1)}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} e^{-st_2}.$$

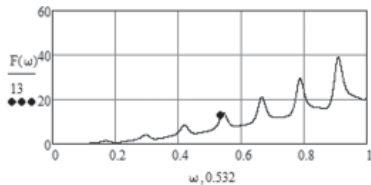


Рис. 2. Вспомогательная функция

Наличие разрыва непрерывности передаточной функции основного канала и полинома в числителе вспомогательного канала приводит к появлению петель в КЧХ эквивалентного объекта (рис. 1) и значительного числа экстремумов вспомогательной функции (рис. 2). Расчетным максимумом оказался четвертый.

Проведены исследования влияния типа аппроксимирующих структур передаточных функций на порядковый номер рабочего максимума вспомогательной функции.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 14-19-01772).

Литература

1. Ротач В. Я. Теория автоматического управления. М.: Издательство МЭИ, 2007.

А. В. Васильева, студ. ;
рук. В. М. Парчевский, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДВУХМЕРНОЙ СЕПАРАЦИОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРОГЕНЕРАТОРА НА ЕЕ ВИД

В связи с необходимостью включения АЭС в регулирование частоты и мощности в энергосистеме необходима разработка дополнительного математического обеспечения АСУ объектами атомной энергетики, в том числе и парогенераторов (ПГ). Основной статической характеристикой ПГ является его сепарационная характеристика $\omega(h)$, показывающая зависимость влажности вырабатываемого насыщенного пара ω от уровня воды h . Необходима разработка методики получения двухмерной сепарационной характеристики (ДСХ) $\omega(h, d)$, показывающей зависимость влажности не только от уровня, но и от нагрузки ПГ d . ДСХ должна быть представлена в аналитическом виде для удобства загрузки в контроллеры и другие цифровые устройства. В статье [1] представлен один из вариантов аналитической модели ДСХ, содержащей 19 постоянных коэффициентов, учитывающих особенности конкретного ПГ. Автором доклада был выполнен анализ влияния коэффициентов модели на вид СХ и выбор наиболее значимых (a_{12} , a_{20} , a_{40}), что представлено на рис. 1. Выполненный анализ дает возможность разработать алгоритм быстрого подбора коэффициентов для моделирования экспериментально полученных ДСХ с экономией труда и времени.

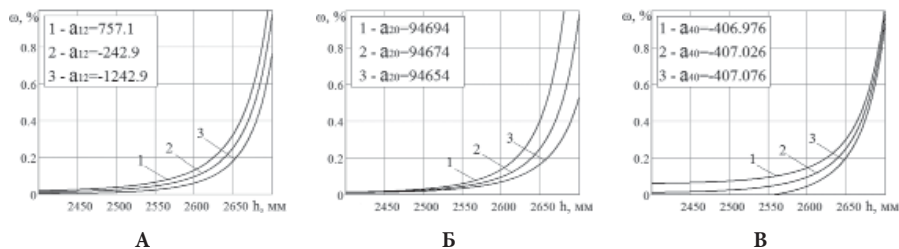


Рис. 1. Влияние изменения коэффициентов А) a_{12} , Б) a_{20} , В) a_{40} на вид СХ при номинальной нагрузке ПГ

Литература

1. Парчевский В. М., Гурьянова В. В. Расчет и моделирование двухмерной сепарационной характеристики парогенератора АЭС с ВВЭР-1000 // Теплоэнергетика. 2017. № 1. С. 25–30

*А. Т. Юлбердина, студент;
рук. И. А. Щербатов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

Современные тенденции разработки информационных систем, обеспечивающих поддержку задач планирования ремонтных мероприятий для предприятий энергетики, свидетельствуют о необходимости прогнозирования дефектов технологического оборудования, что позволяет осуществлять ремонт по техническому состоянию. Ремонт оборудования по техническому состоянию обеспечивает повышение эффективности использования финансовых средств.

Поэтому актуальной является задача прогнозирования дефектов технологического оборудования энергетики. При прогнозировании дефектов существует необходимость установления зависимости между параметрами (входы) и дефектами (выходы). В результате литературного обзора получено, что для этого лучше всего подходят нейронные сети.

Нейронные сети — это система соединенных и взаимодействующих между собой искусственных нейронов. Будучи соединенными в достаточно большую сеть с управляемым взаимодействием, искусственные нейроны вместе способны выполнять сложные задачи, поскольку способны обучаться в процессе работы.

Дефект — это любое несоответствие установленным требованиям.

Устранение дефектов приводит к снижению вероятности отказов.

В данной работе используется прогнозирование в среде Matlab. Рассматриваются нейронные сети типа многослойный перцептрон. В качестве модели прогнозирования отказа используется прямое распространение сигнала с одним скрытым слоем. Количество параметров и дефектов для различных групп оборудования меняется, вследствие чего меняется и структура модели.

В данной работе мы выяснили, что алгоритм Левенберга–Марквардта является более точным, нежели алгоритм обратного распространения ошибки. Также мы заметили, что размерность обучающей выборки влияет на качество обучения.

Литература

1. **Ящура А. И.** — Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования. Справочник. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006
2. **Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С.** — Нечеткие модели и сети / 2-е изд., стереотип. М.: Горячая линия–Телеком, 2012

Д. А. Юпатов, асп; рук. Э. К. Аракелян, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КОММЕРЧЕСКАЯ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ ПРИ РАБОТЕ НА ОРЭМ

Работа объектов генерации на оптовом рынке электроэнергии и мощности (ОРЭМ) на прямую влияет на финансовый результат компании. Поэтому операции, производимые при работе на ОРЭМ должны учитывать не только технологическое выполнение режима, но и финансовую сторону, что способствует развитию направления коммерческой диспетчеризации (КД).

С учетом лучших практик и накопленного опыта методология КД при работе на ОРЭМ, на мой взгляд, должна включать в себя набор основных задач, решаемых с помощью информационной системы:

1. На основании полученных данных: рассчитанного УДГ на основании команд системного оператора (СО) данных о торговом графике (ТГ), плане балансирующего рынка (ПБР), спорадических команд и текущей фактической выработке из разных систем (ОИК, СТМ, АИИСКУЭ) по группе точек поставки генерации (ГТПГ), рассчитывается рекомендация по несению фактической нагрузки для уменьшения величины отклонения по собственной инициативе (ИС) и максимизации функции финансового результата.
2. Расчет экономического эффекта при работе на балансирующем рынке. Необходимо производит оперативный расчет прогнозной прибыли при загрузке/разгрузке оборудования на ОРЭМ. Целесообразность подачи оперативных ценопринимающих ценовых заявок (ОЦПЗ) [1].
3. Анализ влияния подачи ОЦПЗ на филиалы компании, при их наличии и корректировка целесообразности подачи заявки на балансирующем рынке (БР), рынке на сутки в перед (РСВ), выборе состава включенного генерирующего оборудования (ВСВГО).
4. Распределение заданной нагрузки (тепловой и электрической) по каждой турбине и максимизации функции финансового результата.
5. Оперативный расчет стоимости и объемов отклонения при работе на балансирующем рынке [2].

Только совместное решение данного набора задач, решенное на базе информационной системы в связи с активно развивающейся автоматизацией в сфере ОРЭМ позволит решить задачу КД в полной мере.

Литература

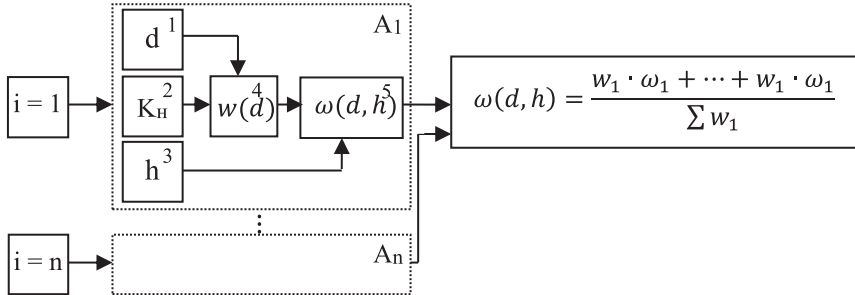
1. http://www.so-ups.ru/index.php?id=markets_regulations
2. **Таран А. С.** Краткосрочная оптимизация режимов работы электростанций // Электрические станции — 2013. — № 1. — с. 31–33

Д. А. Ершов студ.; рук. В. М. Парчевский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА НЕРАВНОМЕРНОСТИ СКОРОСТИ ВЫХОДА ПАРА С ЗЕРКАЛА ИСПАРЕНИЯ ПАРОГЕНЕРАТОРА АЭС С ВВЭР-1000 НА ВЛАЖНОСТЬ ПАРА

Для управления парогенератором (ПГ) АЭС с ВВЭР необходимо располагать двухмерной сепарационной характеристикой (ДСХ) ПГ $\omega = (d, h)$, показывающей зависимость влажности пара ω на выходе из ПГ от нагрузки d и уровня воды h . Для расчета ДСХ нужно знать скорость выхода пара w во всех зонах i зеркала испарения.

Ввиду сложности и недостаточной изученности гидродинамических процессов генерации пара в ПГ получить расчетным путем значение w с достаточной точностью невозможно, поэтому используются экспериментальные данные в виде коэффициента неравномерности K_n [1], показывающего во сколько раз максимальная скорость выхода пара вблизи горячего коллектора на данной нагрузке больше средней по всему зеркалу испарения. Обычно K_n располагается в диапазоне $1,2 \leq K_n \leq 1,3$. На рисунке представлена блок-схема алгоритма (процедуры) оценки влияния K_n на ω . Блоки $A_1 \dots A_n$, соответствующие зонам разбиения зеркала испарения, содержат модули расчета скорости выхода пара (4) и влажности (5).



Литература

1. Трунов Н. Б., Логвинов С. А., Драгунов Ю. Г. Гидродинамические и теплохимические процессы в парогенераторах АЭС с ВВЭР. — М.: Энергоатомиздат, 2001.

Г. Н. Цуриков, студент;
рук. И. А. Щербатов к.т.н., доц. (МЭИ, Москва)

ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Основа новой промышленной революции (Индустрия 4.0) — интернет вещей, реализующий многоуровневую архитектуру взаимодействия технических объектов (средств измерения, систем управления и пр.). Информационное взаимодействие между объектами реализовано по аналогии с глобальной сетью. Промышленный интернет вещей или IIoT (Industry Internet Of Things), получил широкое распространение в странах-лидерах мирового рынка энергетики, в том числе в России. Президентом РФ В.В. Путиным было отмечено, что распространение IIoT в нашей стране приведет к созданию новой промышленности, что повысит эффективность экономики в целом [1].

Внедрение IIoT в энергетике сопряжено с необходимостью решения сложной задачи, а именно, необходимостью объединения всех технологических объектов единым информационным пространством (сетью), которое обеспечит сбор, хранение и управление объектами (например, на основе DSS-систем) без участия большей части персонала.

Проанализировав большое количество статей, связанных с данной тематикой (IIoT), мною был обнаружен недостаток информации и примеров, касающихся использования промышленного интернета вещей на энергетических объектах нашей страны. В связи с этим, была поставлена задача разработать четырехуровневую структуру IIoT объекта энергетики (рис. 1), указать необходимые задачи, которые можно решить, внедряя IIoT на данный объект. Особое внимание было обращено в сторону разработки центрального уровня промышленного интернета вещей — его платформы, основной функцией которой (помимо сбора, хранения, визуализации данных) является формирование управляющих решений и их воспроизведение без участия человека [2]. Кроме того, мною предложена облачная форма существования данной платформы.

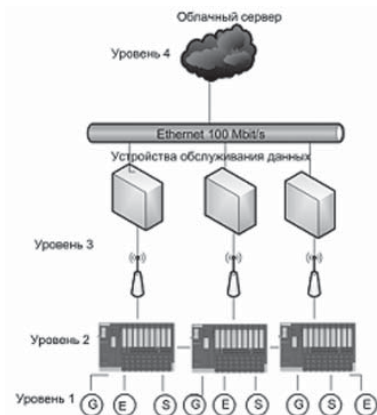


Рис. 1. Принципиальная 4-уровневая схема IIoT на энергетическом объекте

Литература

1. **Моисеев В.** Владимир Путин: IOT создаст новую промышленность. URL: <https://iot.ru/promyshlennost/vladimir-putin-iot-sozdast-novuyu-promyshlennost>.
2. **Ицкович Э. Л.** Развитие АСУ технологического производства в рамках концепции Индустрия 4.0 (Industry 4.0) // Датчики и системы. — 2017 — № 7.

Направление

ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЕ

Научный руководитель направления —
директор ЭнМИ, к.т.н., профессор С.А. Серков

Секция 48

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ДВИГАТЕЛИ

Председатель секции — директор ЭНМИ к.т.н., профессор С.А. Серков
Секретарь секции — к.т.н., доцент А.И. Лебедева

Ахмед М.Э.А.Э., асп.; рук. Б. Н. Петрунин, к.т.н., инж.,
С. С. Дмитриев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕПАРАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ НОВОГО ПЕРИФЕРИЙНОГО УПЛОТНЕНИЯ НИУ «МЭИ»

Исследуемое уплотнение предназначено для использования в ступенях высокого и среднего давления турбин АЭС. Особенностью нового типа уплотнения является возможность удаления капельной влаги из надбандажного пространства между ротором и статором уплотнения.

Вид уплотнения показан на рис. 1. Исследованное уплотнение работает следующим образом.

Капли влаги, находящиеся в потоке рабочего тела, вследствие начальной закрутки потока и вращения роторной части 1, помимо осевого, совершают также окружное движение. Возникающая при этом центробежная сила отжимает капли влаги на статорную часть периферийного уплотнения турбины. Из прямоугольных камер 6 влага через радиальные отверстия 8 попадает в расточку 9 статорной обечайки 2, откуда затем удаляется через осерадиальные отверстия 10 в периферийное пространство за ступень турбины.

При проведении тестовых испытаний модели уплотнения на воздушном стенде «ДМУ» с впрыском воды через форсуночный узел, установленный на входе в уплотнение сразу после завихрителя было показано, что предложенный тип уплотнения может эффективно использоваться для сепарации влаги из потока. Так, при остановленном роторе удавалось удалить через сверления отверстий 10 порядка 10% всей подаваемой на уплотнение воды, а при скорости вращения ротора в 3000 об/мин — до 35%.

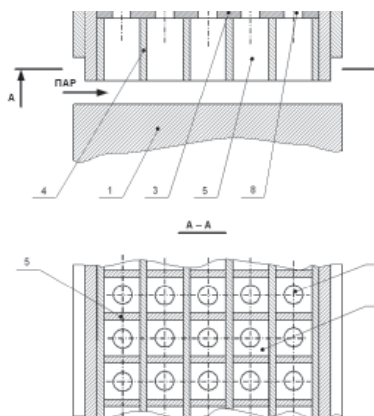


Рис. 1. Периферийное уплотнение паровой турбины: 1 — ротор; 2 — статор; 3 — цилиндрическая пластина; 4 — кольцевая пластина; 5 — радиальная пластина; 6 — камера; 7 — установочная пластина; 8 — радиальные отверстия; 9 — кольцевая расточка; 10 — осерадиальные отверстия

*А. С. Акатов, Т. Падаш, аспиранты;
рук. А. Е. Зарянкин, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ГАШЕНИЯ ОКРУЖНОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ В КАМЕРЕ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ СТУПЕНИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Как показали специальные исследования [1, 2] в камере регулирующей ступени паровых турбин с сопловым парораспределением сохраняется высокая окружная неравномерность, обусловленная парциальным подводом пара к регулирующей ступени, что отрицательно сказывается на экономичности, надежности и маневренности всего ЦВД турбины. Для снижения неравномерности на входе в первую нерегулируемую ступень был установлен перфорированный экран, призванный выравнивать поле скоростей перед указанной ступенью. Однако в турбине К-200-130 ЛМЗ экономическая эффективность оказалась незначительной.

Проведенное в настоящей работе математическое исследование течения в указанном отсеке турбины показало, что с помощью перфорированного экрана кардинально изменить поле скоростей не удалось.

В этой связи в результате исследования эффективности ряда альтернативных вариантов удалось найти простое решение, обеспечивающее высшую степень выравнивания поля скоростей перед первой нерегулируемой ступенью турбины.

Литература

1. **Зарянкин А. Е., Зройчиков Н. А., Рогалев Н. Д., Рогалев А. Н., Митрохова О. М.** Влияние типа парораспределения на экономичность цилиндров высокого давления энергетических турбин // Вестник МЭИ. — 2015. — № 5.
2. **Бирюков А. В.** Повышение экономичности цилиндра высокого давления паротурбинной установки малой мощности на основе экспериментальных исследований: Автореф. дисс. ... канд. тех. наук. — СПбПУ, 2011.

Р. А. Алексеев, асп.; рук. Грибин В. Г., д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМАЗИЦИЯ ГЕОМЕТРИИ ПРОФИЛЯ СОПЛОВОЙ ТУРБИННОЙ ЛОПАТКИ

В современном турбостроении особенно остро стоит вопрос о повышении эффективности последних ступеней паровых турбин. Для достижения данной цели применяют различные подходы, например применение активных и пассивных методов борьбы с эрозионно-опасной влагой, либо внедрение новых конструктивных решений. Однако, говоря об эффективности лопаточного аппарата, одним из определяющих факторов является совершенство проточной части [1].

Геометрия профиля в первую очередь определяет характер явлений, протекающих в межлопаточном канале и во всей проточной части.

Разработанная на кафедре паровых и газовых турбин методика основана на применении параметрических кривых Безье.

Кривые Безье обладают рядом преимуществ, которые важны при профилировании лопаток [2]: они являются гладкими кривыми (первая и вторая производные существуют и непрерывны); повторяют опорную линию, сформированную узловыми точками; и лежат в выпуклой оболочке, порожденной массивом узловых точек.

Данная работа представляет собой продолжение предыдущих работ по разработке методики профилирования основанной на применении кривых Безье. Она позволяет не только проектировать новые профили, но и модифицировать уже имеющиеся, заданные набором точек. Были разработаны четыре модификации исходного профиля. Оптимизация профиля проводилась с целью ликвидации отрывов потока в диффузорном участке канала, вблизи выходной кромки, со стороны спинки профиля. Такие параметры решетки, как шаг решетки, угол выхода потока, горло и хорда профиля оставались неизменными. По результатам расчетных и экспериментальных исследований было произведено сравнение величины профильных потерь модифицированных профилей с исходным. В результате удалось добиться снижения профильных потерь на величину порядка 30% относительно исходного профиля.

Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 16-19-10484.

Литература

1. **Дейч М. Е.** Газодинамика решеток турбомашин. М.: Энергоатомиздат, 1996.
2. **Шикин Е. В., Плис А. И.** Кривые поверхности на экране компьютера. Руководство по сплайнам для пользователей. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1996.

*Аунг Ту Ра Тун, аспирант;
рук. В. Ф. Очков, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ, Москва)*

ИНТЕРНЕТ-ПОДДЕРЖКА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

В докладе изложены новые подходы для поддержки теплотехнических расчетов с использованием современных информационных технологий, математических и инженерных программ, а также и облачных решений — ссылок на функции, хранящиеся на серверах.

В частности, излагаются принципы живых интерактивных расчетов и облачных функций по теплофизическим свойствам рабочих тел, теплоносителей и конструкционных материалов теплоэнергетических установок, включая установок тригенерации. Используются современные математические программы Mathcad и Maple и их сетевые приложения для создания «живых» формуляций Международной ассоциации по свойствам воды и водяного пара, а также для расширения и совершенствования расчетного портала кафедры Теоретических основ теплотехники имени М. П. Вукаловича НИУ «МЭИ».

Изложены принципы гибридного проектирования термодинамических циклов, сочетающего аналитические выкладки и численные расчеты с отказом от использования численных значений энтальпий и энтропий рабочих тел, а с работой только с разностью этих величин. Предложены методы построения количественных, а не качественных диаграмм бинарных термодинамических циклов за счет масштабирования и сдвига диаграмм отдельных циклов.

Подчеркнута важность использования в теплотехнических расчетах не только единиц измерения, но и разных физических величин с одинаковыми единицами измерения. Это позволяет повысить точность и надежность расчетных методик, в частности, за счет отказа от ряда безразмерных величин.

Литература

1. **Очков В. Ф., Орлов К. А., Кузнецов В. Н., Знаменский В. Е. Аунг Ту Ра Тун.** Парогазовые циклы: три аспекта компьютерных расчетов // Энергосбережение и водоподготовка. № 5. 2017.
2. **Аунг Ту Ра Тун, В. Ф. Очков.** Новые IT при работе с теплофизическими свойствами рабочих тел бинарных энергоустановок // Тезисы Всероссийской конференции «XXXIII Сибирский теплофизический семинар», 6–8 июня 2017, Новосибирск
3. **Очков В. Ф., Орлов К. А., Волощук В. В., Дудолин А. А., Олейникова Е. Н., Аунг Ту Ра Тун.** Теплофизические свойства веществ в компьютерных расчетах по энергоэффективности // Энергосбережение и водоподготовка, № 3. 2016. С. 43–57

*А. А. Бабенко, Н. А. Кушнир студ.;
рук. И. А. Зюбин, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СПОСОБ КОНВЕРТАЦИИ ДИСКРЕТНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ В ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЙ

Системы с применением пропорциональной гидравлики постепенно расширяют круг своего применения. Однако определенная технологическая сложность в изготовлении пары золотник — гильза для пропорциональной аппаратуры ограничивает темпы развития данной отрасли [1]. Высокие технологические требования к элементам пропорциональной гидравлики обусловлены необходимостью не только однозначного соответствия входного сигнала системы управления выходным параметрам пары золотник-гильза, но и нахождения этих параметров в достаточно узком диапазоне допустимых значений. Точность соответствия параметров является основным требованием к пропорциональным гидравлическим распределителям.

Повышение точности обеспечивает введение обратной связи по положению золотника. Выполненные с высоким качеством дросселирующие пары пропорциональной гидравлики обеспечивают известный и повторяющийся от изделия к изделию законы изменения выходных параметров при перемещении золотника и формирования сигнала обратной связи [2].

Экземпляры запорно-регулирующих элементов (ЗРЭ) предназначенные для дискретного управления даже в рамках одной партии не обладают гарантированной расходно-перепадной характеристикой в промежуточном положении и возможность их применения в составе пропорционального гидроаппарата обеспечивается оснащением устройства интеллектуальным блоком обратной связи в памяти которого фиксируется индивидуальный закон управления положением золотника.

В работе рассмотрена возможность использования типового дискретного распределителя 4/2 Дуб с электромагнитным управлением в качестве основы для формирования пропорционального аппарата путем установки интеллектуального привода перемещения золотника и получение его индивидуальной передаточной функции на стенде фирмы «Фесто» с использованием цифро-аналогового интерфейсного модуля EasyPort в автоматическом режиме.

Литература

1. **Соболев В.** Ахиллесова пята пропорциональной гидравлики, 06.11.2011, <https://konstruktor.net/podrobnee-hidr/axillesova-pjata-proporcionalnoj-gidravliki.html>.
2. **Кишкевич П. Н., Жилевич М. И., Бартош П. Р.** Статический и динамический расчет гидро- и пневмораспределителей: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-36 01 07 Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин / П. Н. Кишкевич, — Минск: БНТУ, 2012. — 80 с.

*А. С. Ермилова, студент;
рук. А. И. Лебедева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СОПОСТАВЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ПГУ НА БАЗЕ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ ГТЭ-160 И АЕ 94.2 К

В России в последние годы развитие энергетики осуществляется главным образом за счет внедрения комбинированных парогазовых установок (ПГУ), в которых используется тепло выхлопных газов газотурбинной установки (ГТУ) [1].

Целью данной работы является расчет вариантов замены отработавших ресурс паротурбинных блоков мощностью 200 МВт на ПГУ.

Зарубежные ГТУ по экономичности превосходят отечественные установки. В связи с этим, большинство вводимых ПГУ базируются на зарубежных ГТУ. В настоящей работе проведено сопоставление экономичности и надежности ПГУ на базе отечественной газовой турбины ГТЭ-160 и зарубежной АЕ 94.2К.

В данной работе выполнен расчет тепловых схем двух ПГУ на базе газовых турбин ГТЭ-160 и АЕ 94.2К. В результате расчета мощность ПГУ с ГТУ ГТЭ-160 составляет 244,1 МВт, а коэффициент полезного действия (КПД) — 52,3%. ПГУ с ГТУ АЕ 94.2К имеет мощность 257,8 МВт, а КПД — 55,4%. Проведя сравнительный анализ полученных данных, можно сделать вывод о том, что использование ПГУ на базе зарубежной ГТУ предпочтительнее.

Одним из показателей надежности паровой турбины является степень влажности пара в последних ступенях. Присутствие в потоке пара жидкой фазы приводит к снижению КПД ступени и к эрозионному износу рабочих лопаток. Для паровой турбины в составе ПГУ с зарубежной ГТУ степень влажности в области последних степеней ЦНД меньше, по сравнению с паровой турбиной в составе ПГУ с отечественной ГТУ.

В зоне фазового перехода (ЗПФ) проточной части паровой турбины в составе ПГУ с зарубежной ГТУ температура пара несколько ниже, чем для варианта с использованием отечественной ГТУ. Это повышает надежность деталей проточной части паровой турбины в ЗПФ для первого варианта ПГУ.

Таким образом, по экономичности и надежности выгоднее использовать для ПГУ-240 зарубежную ГТУ. Вместе с тем эксплуатация и ремонт зарубежных ГТУ проводится изготовителем за валюту и эксплуатация отечественной ГТУ может быть целесообразнее.

Литература

1. **Трухний А. Д.** Парогазовые установки электростанций. М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — 667 с.: ил.

*П. Е. Федотов, студент; рук-ли В. М. Супранов, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ»), Г. А. Рябов, д.т.н. (ОАО «ВТИ»)*

ХИМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ СЖИГАНИЯ И ГАЗИФИКАЦИИ ТОПЛИВА С ОКСИДАМИ МЕТАЛЛОВ: ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ЧАСТИЦ

Примерно треть глобальной антропогенной эмиссии диоксида углерода связана с централизованным производством энергии из органического топлива, поэтому методы снижения этой составляющей представляют большой интерес. Так как сложности с улавливанием CO_2 в значительной степени связаны с его низкой концентрацией в дымовых газах, альтернативой может служить использование кислорода вместо воздуха при сжигании топлива. Применение этого метода сдерживается высокими затратами на получение кислорода.

Эта проблема может быть решена с помощью сжигания топлива в химических циклах. Суть этой технологии сводится к такой организации процесса горения, когда переносчиком кислорода к топливу является не воздух, а оксид металла. Последний при взаимодействии с топливом в топливном реакторе восстанавливается до металла (или более низкого оксида) с образованием CO_2 и водяного пара. После этого металл окисляется в специальном реакторе, и получившийся оксид вновь направляется в цикл. Выходящие из топливного реактора газы после конденсации водяного пара представляют собой практически чистый CO_2 , который может быть направлен на захоронение или утилизацию.

В настоящей работе выполнен анализ современного состояния исследований и разработок по улавливанию CO_2 в химических циклах сжигания топлив. Из него следует, что технологии сжигания и газификации в высокотемпературных химических циклах с оксидами металлов — носителями кислорода могут быть эффективными по капитальным и эксплуатационным затратам.

В рамках работы проведены экспериментальные исследования условий псевдоожижения и гидродинамики реактора с циркулирующим кипящим слоем в условиях движения бинарных смесей частиц с различной плотностью. Такие исследования в мировой практике до сих пор не проводились. Получены зависимости:

- относительного градиента давлений от объемной доли тяжелых частиц;
- начала псевдоожижения бинарных смесей оксидов металлов и песка;
- профилей массовых потоков в зоне выхода из реактора с ЦКС и другие.

Исследования проводились на экспериментальной установке ОАО «ВТИ».

Н. Г. Хасанов, асп.;
рук. А. Б. Шигапов, д.т.н., проф. (КГЭУ, Казань)

ОПТИМИЗАЦИЯ СТЕПЕНИ ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В КОМПРЕССОРЕ ГТУ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ВОЗДУХА ПРИ УЧЕТЕ НЕИДЕАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ГАЗА

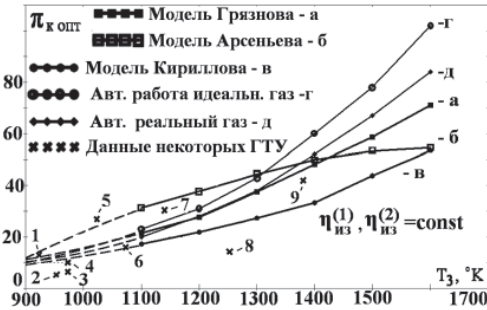


Рис. 1. Сравнение оптимальной степени повышения давления, рассчитанной по моделям различных авторов и данные некоторых ГТУ (1-7)

Важнейшая оптимизационная задача теплового расчета, влияющая на термический КПД и полезную мощность спроектированной газотурбинной установки (ГТУ) с промежуточным охлаждением воздуха (ПО) — выбор общей и каскадной степени повышения давления в компрессоре. На текущий момент решается с допущениями:

- воздух и продукты сгорания топлива считаются идеальным газом;
 - изоэнтروпные КПД каскадов компрессора не зависят от их степеней повышения давления.
- В рамках исследования были решены следующие задачи:
- Усовершенствован известный одномерный метод конечных элементов теплового расчета расширения и сжатия газа: а) достоверной оценкой необратимости процесса б) комплексным учетом неидеальности газа.
 - Предложен алгоритм, определяющий связь между изоэнтропными КПД компрессора и его каскадов в зависимости от соотношения общей и каскадной степени повышения давления, на основании постоянства политропного КПД процесса.
 - Разработана математическая модель двумерной оптимизации общей и каскадной степени повышения давления воздуха по критериям максимальной полезной мощности и термического КПД ГТУ с ПО при учете неидеальных свойств газа и зависимости изоэнтропных КПД каскадов компрессора от давления.
 - Доказано, что модель идеального газа дает завышенные значения оптимальной общей степени повышения давления воздуха в компрессоре, как по критерию максимальной полезной мощности, так и термического КПД, рис. 1, что негативно скажется на технико-экономических и эксплуатационных показателях спроектированной ГТУ.

Харченко В. А., аспирант (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СГОРАНИЯ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ТОПЛИВА

В настоящее время все большую популярность набирают дизель-генераторные установки (ДГУ). Они являются одними из самых мобильных установок. ДГУ зачастую поставляются производителями в контейнерах, удобных к транспортированию на железнодорожных платформах, прицепах и судах.

Многие производители ищут пути снижения затрат производства электроэнергии. Один из подобных путей — использование удешевленного двухкомпонентного топлива в ДГУ. Двухкомпонентное топливо удобно использовать при стационарных режимах работы ДГУ. Обязательным компонентом смеси является дизель.

Проведены исследования горения двухкомпонентного топлива в ДВС безыскрового зажигания. В качестве двухкомпонентного топлива в основном выступала смесь, содержащая 5% эталонного дизельного топлива и 95% метана. Характеристики процесса горения сравнивались с характеристиками горения эталонного дизельного топлива. Основной целью экспериментов являлось определение характера горения двухкомпонентной смеси. Помимо этого, была произведена сравнительная оценка характера роста давления в камере сгорания. Была оценена продолжительность горения и его качество.

В ходе экспериментов было определено, что процентное содержание компонентов смеси зависит от режима работы ДГУ и определяется исходя из условия обеспечения наибольшей экономичности. Горение дизельного топлива происходит в один этап. Дизель подается в камеру сгорания через распыляющую форсунку. В результате распыления образуется однородная смесь, с равномерным распределением частиц дизеля в воздушном пространстве. Горение двухкомпонентного топлива происходит в два этапа. В первоначальный момент времени происходит самовоспламенение смеси дизель-воздух, которая вызывает мгновенный локальный рост температуры внутри камеры сгорания. Ввиду роста температуры происходит воспламенение смеси метан-воздух. Горение смеси метан-воздух больше почти в два раза, ввиду неравномерности распределения молекул газа в воздушном пространстве. Также при горении смеси метан-воздух образование сажи происходит в большей степени (чем при горении смеси дизель-воздух), ввиду наличия областей «богатой» смеси и, как следствие, неполноты сгорания.

А. А. Хрычева, студ.; рук. С. А. Серков, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ТУРБОГЕНЕРАТОРА МИНИ-ТЭЦ С ОСЕРАДИАЛЬНОЙ СТУПЕНЬЮ N = 30 КВТ

Разрабатываемый аппаратный комплекс предназначен для получения распределенной генерации тепла и электричества в технологически изолированных территориальных электроэнергетических системах. Мини-ТЭЦ позволяют потребителю не зависеть от централизованного энергоснабжения и использовать рациональные для местных условий источники производства энергии [1].

Модульная мини-ТЭЦ малой мощности 30 кВт, работает на оптимальных параметрах, при которых конструкция паровой турбины отвечает условиям компактности, надежности, экономичности и ремонтпригодности [2]. Использование возобновляемых источников энергии получаемых из биомассы является преимуществом перед имеющимися или предлагаемыми на основе газовых турбин. В высокоскоростной турбомашине используются газодинамические подшипники лепесткового типа, они обладают рядом существенных преимуществ.

Расчет радиально-осевой турбины показал, что при начальных параметрах $p_0 = 7$ бар, $t_0 = 220^\circ\text{C}$, внутренняя мощность $N_i = 29$ кВт, относительный КПД ступени $\eta_{oi} = 0,797$, расход топлива 1217 кг/ч. Температура ниже 450°C дает гарантию отсутствия ползучести деталей. Прочностной расчет показал, что данная ступень работоспособна. Конструкции ступени с радиальным сопловым аппаратом, безлопаточным кольцевым радиально-осевым каналом и осевым рабочим колесом при парциальном подводе рабочего тела из-за интенсивной закрутки за радиальным осевым аппаратом в кольцевом радиально-осевом канале обеспечивает перестройку и перемешивание потока, поэтому на рабочее колесо поступает выровненный по окружности поток [3].

Мини-ТЭЦ модульного типа — мобильный автономный блок без фундамента, высотой 2 м, шириной 2 м и длиной 3,5 м. Достаточно высокий коэффициент использования топлива, составляющий около 90%, говорит об эффективном и экономичном использовании тепла топлива.

Литература

1. **Трухний А. Д.** Основы современной электроэнергетики. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010. — 61 с.
2. **Костюк А. Г., Фролов В. В.** Турбины тепловых и атомных электрических станций. — М.: Издательство МЭИ, 2001.
3. **Костюк А. Г., Фролов В. В., Булкин А. Е., Трухний А. Д.** Паровые и газовые турбины для электростанций. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008. — 113 с.

Н. Р. Хуснетдинов, студ.;
рук. П. В. Росляков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РЕКОНСТРУКЦИЯ КОТЛА ТПЕ-430 С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ NO_x

Чистота атмосферного воздуха является важнейшим компонентом, определяющим воздействие окружающей среды на человека. В крупных промышленных центрах в связи с ростом источников загрязнения, таких как автотранспорт, промышленные предприятия и др., часто наблюдается существенное превышение содержания вредных веществ в воздухе над санитарными нормами. Одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха, особенно оксидами азота, являются тепловые электрические станции, сжигающие органическое топливо.

В настоящей работе предложены и обоснованы решения, позволяющие снизить выбросы оксидов азота на котле ТПЕ-430 до нормативных значений и расширить рабочий диапазон до целевого показателя по минимуму (30% от номинальной паропроизводительности), а именно — замена горелочных устройств на низкотоксичные; организация двухступенчатого сжигания [1]; введение газов рециркуляции впод топки, что позволяет снизить выход термических оксидов азота и дает возможность регулировать температуру перегретого пара при изменении нагрузки. Проведено исследование влияния различных режимных и конструктивных мероприятий на выбросы оксидов азота.

В результате проведенных теплотехнических испытаний на котле ТПЕ-430 было установлено, что котел не соответствует нормативных требованиям по содержанию NO_x в входящих газах [2]. В этой связи был проведен тепловой расчет котла в программе BoilerDesigner с учетом предложенных мероприятий по снижению концентрации оксидов азота. Кроме того проводились расчеты вредных примесей по методикам СО 153-34.02.304-2003 и РД.34.02.304-95 и в программе ENPOL. Данные расчеты показали, что после внедрения природоохранных мероприятий на котле ТПЕ-430 будут достигнуты нормативные значения выбросов NO_x в атмосферу.

Результатом проведенных исследований и пуско-наладочных работ будет модернизированный котел ТПЕ-430, установленный на Астраханской ТЭЦ-2. Снижение выбросов NO_x приведет к экономии вследствие отсутствия выплаты штрафов за выбросы.

Литература

1. **Росляков П. В.** Методы защиты окружающей среды. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
2. **ГОСТ Р 50831-95.** Установки котельные. Тепломеханическая часть. Общие технические требования.

М. Б. Комолов, соиск.;
рук. Г. М. Моргунов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ПОГРУЖНОГО ПОЛИРЯДНОГО НАСОСА ДЛЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ ВЫСОКОМУ КЛАССУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПО ГОСТ 56624-2015

Цель работы: выявление принадлежности проектируемого полирядного насоса (ПН) [1] для нефтедобывающих установок лопастных многоступенчатых электронасосов [2] типоразмера 5А-100 классу е3 — уровню высокого полного КПД по госстандарту энергоэффективности [3] и сравнительное представление уровня аналогичных серийных образцов.

Конкурентными представителями класса е3 приняты ступени ВНН5А-100Э (НОВОМЕТ, Пермь, РФ) и Flex 400-10 (Baker Hughes, Houston, USA), которые по рабочим органам (РО) соответственно относятся к радиально-вихревому и смешанному (радиально-диагональному) типам. Альтернативное исполнение ПН тройной схемы с втулочным рядом без ступеней при определенном соотношении РО в его разнонаправленных периферийном и среднем рядах минимизирует осевую силу ротора, потери от трения в его опоре, тем самым увеличивая механический и следственно полный КПД насоса, что в совокупности с выявленным на ранних этапах исследования ПН [4] достаточным уровнем гидравлического КПД ($\approx 0,8$) и других параметров осевых ступеней малой быстроходности (n_s от 134), составляющих насос, позволяет провести необходимое соответствие на основании расчета по результатам: компьютерного эксперимента в ANSYS CFX для РО среднего ряда; натурального эксперимента для периферийного ряда.

Используя указанный способ оценки, выявлена принадлежность представленного исполнения исследуемого насоса классу е3 — уровню высокого полного КПД по [3], при этом в сравнении с серийными аналогами существенно превышен требуемый его порог.

Литература

1. **Моргунов Г. М., Моргунов К. Г., Эльзароок Фарадж** Проектирование и расчетные исследования гидродинамических свойств полирядного высоконапорного насоса на малые подачи // Вестник МЭИ. 2007. № 6.
2. **Агеев Ш. Р., Григорян Е. Е., Макиенко Г. П.** Российские установки лопастных насосов для добычи нефти и их применение. Энциклопедический справочник. Пермь: ООО «Пресс-Мастер», 2007.
3. **ГОСТ 56624-2015** «Энергетическая эффективность. Погружные лопастные насосы и электродвигатели для добычи нефти. Классы энергоэффективности».
4. **Комолов М. Б.** Компьютерное обоснование параметров полирядного насоса для нефтедобывающих УЭЛН с высокой энергоэффективностью // Машиностроение и инженерное образование. 2017. № 3.

*С. К. Осипов, асп.; В. И. Крутицкий, асп.; М. А. Черкасов студ.;
рук. А. Е. Зарянкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

К ВОПРОСУ ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЦНД ПАРОВЫХ ТУРБИН СТУПЕНИ БАУМАНА

Одним из способов резкого увеличения пропускной способности цилиндров низкого давления паровых турбин является использование полуторного выхода организованного на базе ступени Баумана. Однако, опыт эксплуатации ЦНД турбин с такой ступенью показал, что в этом случае кпд ЦНД оказывается на 11% [1] ниже. В [2] указывается, что причина этого состоит не в ступени Баумана, а в ошибочном ее проектировании. Суть этих ошибок сводится к следующему.

1. Верхний ярус ступени Баумана срабатывает двойной перепад энтальпий при росте окружной скорости в 1,5 раза. Соответственно этот ярус работает при сниженных против оптимальных значениях $U/C\phi$.
2. При росте скоростей, обусловленном более высоким располагаемым перепадом энтальпий, в верхнем ярусе необходимо было переходить от дозвуковым к трансзвуковым профилям.
3. Недостаточно уделено внимание уплотнению ступени.
4. Отсутствие перегородки в сопловом аппарате ступени.

Проведенный нами математический анализ всех указанных причин показал, что они не могут столь радикально повлиять на снижение кпд всего ЦНД со ступенью Баумана, так как если кпд ЦНД снижается на 11% при использовании указанной ступени, то ее кпд должно снизиться примерно до 58%. Максимальное снижение кпд Ступени Баумана при учете всех указанных ранее факторов составляет не более 6%, что при четырех ступенчатом ЦНД снижает его кпд всего на 1,5%.

Основной причиной резкого снижения КПД ЦНД со ступенью Баумана состоит в громадных перекрышах как при входе пара в верхний ярус рассматриваемой ступени, так и при входе в последнюю ступень турбины, где потери в верхних сечениях сопловых аппаратов согласно опытным данным возрастают до 40–50%. Для ликвидации указанного недостатка в настоящем сообщении представлена модернизированная проточная часть ЦНД, где сделана попытка резко снизить потери энергии, обусловленные высокой перекрышей.

Литература

1. **Б. Л. Луневич, К. М. Кетлински, Е. Т. Крюгер.** Опыт компании «Альстом Пауэр» по модернизации паровых турбин. Теплоэнергетика. 2003. № 6.
2. **Дейч М. Е., Трояновский Б. М.** Исследования и расчеты ступеней осевых турбин. М.: Машиностроение, 1964.

*П. О. Лахтер, студент;
рук. А. М. Дроконов, к.т.н., проф. (БГТУ, Брянск)*

ПЕРИФЕРИЙНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СНИЖЕНИЯ УТЕЧЕК ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Течение рабочего тела у периферии необандаженной турбинной ступени сопровождается сложными физическими явлениями. Нестационарность входящего в рабочее колесо турбинной ступени потока способствует неустойчивости течения в пограничном слое у периферии рабочей решетки и образованию местных срывных вихревых дорожек. В этих условиях движение газа сопровождается значительными потерями энергии, генерацией вибрационных процессов и мощного звукового давления.

Эффективным методом снижения утечек теплоносителя через радиальный зазор, является создание на внешнем обводе рабочего колеса винтовых профильных канавок, обеспечивающих эффект «запирания» потока у периферии.

Исследования эффективности работы такого вида уплотнительных устройств были выполнены на воздушном стенде с использованием модели высоконагруженной турбинной ступени с $d/l=5,3$ и $\alpha_1 \approx 16^\circ$, рассчитанной для $(u/C_0)_{opt}=0,6$; термодинамической степени реактивности $\rho_T=0,3$ и числа Маха $M_{C_1}=0,64$.

Исследования турбинных отсеков выполнялись при пяти углах наклона канавок уплотнения $\alpha_k=82^\circ, 78^\circ, 75^\circ, 71^\circ$ и 68° и трех величинах радиальных зазоров $\delta=0,5; 1,0$ и $1,5$ мм.

Исследования турбинного отсека при радиальном зазоре $0,5$ мм и наличии винтовых канавок на периферийном обводе позволили установить, что наибольшее увеличение КПД ступени получено при $\alpha_k=75^\circ$, где его прирост составил $0,8\%$.

Дополнительное снижение потерь энергии в периферийном сечении необандаженной турбинной ступени возможно уменьшением интенсивности течения с высоким числом Рейнольдса, за счет ламинаризации потока — снижения уровня анизотропии жидкости в пограничном слое.

С этой целью следует оснастить периферийный обвод турбинной ступени кольцевым магнитным устройством шлицевого типа, которое производит внешнее воздействие на молекулы рабочего тела в пограничном слое переменным магнитным полем частотой $10^9 \dots 10^{13}$ Гц, что адекватно частоте их собственных колебаний (используя эффект Керра [1]).

Литература

1. Прохоров А. М. Физическая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1990.

*А. А. Макеева, студ.; рук. А. И. Лебедева, к.т.н., доц.;
А. Б. Тхабисимов, к.т.н., м.н.с. (НИУ «МЭИ)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОРРОЗИОННО-АКТИВНОЙ СРЕДЫ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ ЛОПАТОЧНЫХ СТАЛЕЙ

В процессе эксплуатации паровой турбины рабочие лопатки подвержены как статическим, так и динамическим нагрузкам, а также воздействию коррозионно-активной среды, возникающей в зоне фазового перехода, что в совокупности может привести к их коррозионно-усталостному разрушению. В этой связи является актуальной задача проведения экспериментальных исследований сопротивления усталости в коррозионно-активной среде материалов, применяемых для изготовления турбинных лопаток [1].

Целью экспериментальных исследований являлось сравнение сопротивления усталости на воздухе и в коррозионно-активной среде образцов из стали ЭИ961 (13X11H2B2MФ) и стали 12X13, широко используемых для изготовления рабочих лопаток.

Усталостные испытания образцов выбранных сталей проводились на стендах КУ-1 при чистом изгибе с вращением [2]. Коррозионно-усталостные испытания проводились на тех же стендах, с использованием специальных камер, оборудованных устройством для подвода коррозионно-активной среды (3%-ный деаэрированный раствор NaCl).

В результате проведенных исследований были построены кривые выносливости и установлено, что предел выносливости σ^{-1} стали ЭИ961 при испытаниях, проведенных на воздухе, на базе 10^7 циклов равен 350 МПа, а стали 12X13 равен 330 МПа. При коррозионно-усталостных испытаниях на базе 10^8 циклов условный предел выносливости σ_{-1} стали ЭИ961 составил 140 МПа, а стали 12X13 — 160 МПа.

Таким образом, для стали ЭИ961 сопротивление усталости в коррозионно-активной среде оказалось ниже, чем для стали 12X13. В связи с этим для изготовления рабочих лопаток, находящихся в зоне фазового перехода, предпочтительнее использовать сталь 12X13.

Литература

1. **В. С. Соколов, А. И. Лебедева, О. А. Поваров, В. Н. Семенов, В. И. Ногин** Коррозионные повреждения и защита от коррозии рабочих лопаток и дисков теплофикационных турбин // Вестник МЭИ. 1997. № 5. С. 22–25
2. **ГОСТ 25.502-79** Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. 1979. — 34 с.

Р. С. Маслов, асп.; рук. К. А. Плешанов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СЛОЖНЫХ КОНТУРОВ ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

Известно, что водотрубные барабанные котлы с естественной циркуляцией, в том числе котлы-утилизаторы широко распространены и установлены по всему миру. Одной из причин выхода из строя и простоя оборудования котлов подобного типа является нарушение герметичности контура естественной циркуляции вследствие повреждения труб испарительной системы [1, 2]. Повреждение труб может быть связано с различными причинами: неточность проведенных расчетов надежности циркуляции, эрозионный, коррозионный износ внутренней поверхности труб, и несоответствие расчетных и действительных параметров среды.

Неточность проведенных расчетов может заключаться в большой погрешности определения напорного паросодержания. Исследования по напорному паросодержанию проводились в 1960-е гг. различными странами независимо друг от друга. В работе было проведено сравнение трех ведущих мировых методик по определению напорного паросодержания:

- гидравлический расчет котельных агрегатов [3];
- VDI [4];
- Babcock & Willcox [5];

Сравнение методик проводилось для рабочего диапазона значений массовых паросодержаний реальных котлов различных давлений. Сравнение методик показало, что существует значительный разброс значений напорного паросодержания, достигающий 20%. Подобный разброс значений не позволяет однозначно сказать, будет ли обеспечена надежная работа контура. В связи с этим необходимо проводить дальнейшее исследование, целью которого будет являться сопоставление результатов расчета и экспериментальных данных по напорному паросодержанию.

Литература

1. **Плешанов К. А., Стерхов К. В., Росляков П. В.** Устойчивость естественной циркуляции в контуре вертикального котла-утилизатора с горизонтальным расположением труб испарителя при пуске / Электрические станции. 2016. № 5 (1018). С. 21–26.
2. **Росляков П. В., Плешанов К. А., Стерхов К. В.** Исследование естественной циркуляции в испарителе котла-утилизатора с горизонтальными трубами / Теплоэнергетика. 2014. № 7. С. 3.
3. Гидравлический расчет котельных агрегатов. Нормативный метод / под ред. В. А. Локшина, Д. Ф. Петерсона, А. Л. Шварца — М.: Энергия, 1978.
4. VDI Heat Atlas, second edition. 2010. DOI 10.1007/978-3-540-77877-6
5. Steam its generation and use. / Edited by J. B. Kitto and S. C. Stults. 41st edition. — The Babcock & Wilcox company, Barberton, Ohio, U.S.A., 2005.

*Мохамед С.М. С.О., асп.; А. В. Барбашин, студ.;
рук. С. С. Дмитриев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕХОДНОГО ПАТРУБКА ПГУ-450Т КАЛИНИНГРАДСКОЙ ТЭЦ-2

В современных парогазовых установках при проектировании переходных патрубков от выходного диффузора газовой турбины к котлу-утилизатору применяются широкоугольные диффузоры, в которых практически от входа возникает отрыв потока и переход к струйному режиму течения. В таких каналах резко возрастают потери энергии, а поле скоростей на выходе из них характеризуется существенной неравномерностью, что ухудшает процесс теплообмена в первых по ходу трубных пучках котла-утилизатора.

В первой части настоящей работы был исследован метод снижения потерь энергии и выравнивания выходного поля скоростей с помощью установки внутри канала плоской пластины параллельно отклоняющейся стенке. Были получены значения коэффициентов полных потерь при различных положениях пластины внутри канала и определено оптимальное местоположение пластины внутри канала с точки зрения уменьшения коэффициента полных потерь.

Исследованный способ снижения сопротивления и выравнивания полей скоростей в плоских диффузорных каналах был применен для оптимизации переходного патрубка от выходного диффузора газовой турбины к котлу-утилизатору ПГУ-450Т Калининградской ТЭЦ-2.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что конфигурация переходного патрубка, установленного на ПГУ-450Т Калининградской ТЭЦ-2, не является оптимальной. Из полученных данных следует также, что отработка переходного патрубка должна в обязательном порядке проводиться по результатам испытаний канала, состоящего из модели переходного патрубка с установленной за ней моделью котла-утилизатора.

Применение исследованного в работе способа выравнивания выходного поля скоростей и снижения сопротивления в широкоугольных диффузорах позволило при использовании заведомо плохой с точки зрения аэродинамики модели диффузорного переходного патрубка для ПГУ-450Т почти на 20% уменьшить значение коэффициента полных потерь по сравнению с моделью реального переходного патрубка ПГУ-450Т.

Полученные результаты позволяют рекомендовать исследованный способ управления течением для реализации в переходных патрубках от газовой турбины к котлу-утилизатору парогазовой установки при их модернизациях и ремонтах для снижения потерь энергии и выравнивания поля скоростей на входе в котел-утилизатор.

Д. В. Настека, асп.; рук. А. И. Лебедева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПОСЛЕДНИХ СТУПЕНЕЙ ПАРОВЫХ ТУРБИН МЕТОДОМ ЛАЗЕРНО-ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ

Современные методы восстановления рабочих лопаток (РЛ) рассмотрены в работе [1], в которой показаны преимущества восстановления геометрии РЛ методом лазерно-порошковой наплавки (ЛПН).

В настоящей работе приведены результаты исследования влияния ЛПН и последующей термообработки на механические свойства образцов. Основным материалом образцов — лопаточная сталь ЭИ-961Ш, механические свойства которой приведены в табл. 1. В качестве материалов, наплавленных на образцы, использовались сталь 20Х13, никелевый сплав Inconel 625 и никелевый сплав Hastelloy С276.

Для определения механических свойств образцов с наплавками были изготовлены лабораторные образцы на одноосное растяжение по ГОСТ 1467. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 1. Механические свойства основного материала рабочих лопаток

Основной материал	σ_{02} , МПа	σ_B , МПа	δ , %	Ψ , %
ЭИ-961Ш	665,40	833,4	15	40

Таблица 2. Механические свойства образцов с нанесенными наплавками

Материал наплавки	σ_{02} , МПа	σ_B , МПа	δ , %	Ψ , %
20Х13	747,06	1112,56	7,7	33,9
Inconel 625	586,04	766,36	16,7	22,0
Hastelloy С276	644,84	839,86	5,1	5,2

Таким образом, механические свойства сварных соединений основного материала со сталью 20Х13 и Inconel 625 схожи с механическими свойствами основного материала ЭИ-961Ш и эти наплавки можно рекомендовать к применению в качестве материала восстановления изношенных в процессе эксплуатации РЛ.

Литература

- Настека Д. В., Лебедева А. И.** Современные методы восстановления рабочих лопаток последних ступеней паровых турбин. // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. XXII МНТК студентов и аспирантов, Т. 3, М.: Издательский дом МЭИ, 2016, с. 207.

М. А. Носкова, асп.;
рук. Т. В. Богомолова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА НА МОЩНОСТЬ И ЭКОНОМИЧНОСТЬ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ, РАБОТАЮЩЕЙ В СОСТАВЕ ПГУ

Температура наружного воздуха $t_{нв}$ влияет на мощность и экономичность паровой турбины, работающей в составе ПГУ, не только из-за ее влияния на температуру охлаждающей воды и вакуум в конденсаторе, как это бывает в ПТУ, но и из-за изменения расхода G_T и температуры выхлопных газов θ_d ГТУ. В исследованиях ПГУ-325 [1] приведены результаты расчетных исследований изменения этих характеристик, однако в расчетных моделях ПГУ паровая турбина обычно бывает представлена лишь уравнением Стодола–Флюгеля. В выполненных ниже расчетах математическая модель паровой турбины предусматривает не только последовательный расчет всех ступеней паровой турбины с учетом изменения обтекания венцов в нерасчетных режимах, но и учет влияния выходного патрубка турбины [2].

Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Изменение характеристик ПГУ-325 в зависимости от температуры наружного воздуха

$t_{нв}, ^\circ\text{C}$	$N_{\text{эпгу}}, \text{МВт}$	$\eta_{\text{эпгу}}, \%$	$N_{\text{эгту}}, \text{МВт}$	$\eta_{\text{эгту}}, \%$	$N_{\text{эпгу}}, \text{МВт}$	$\eta_{\text{эпгу}}, \%$
-15	100,4	28,6	133	36,6	366,4	50,2
15	112,2	31,9	110,5	36	333,2	51,4
22,7	102,5	29,2	103,2	34,5	308,9	49,5

Расчеты показали, что при низких температурах в отличие от газовой турбины мощность паровой турбины уменьшается, стабилизируя суммарную мощность ПГУ.

В рассмотренном диапазоне температур наружного воздуха электрическая мощность ПГУ изменяется в диапазоне $0,89 \div 0,91 N_0$, а электрический КПД ПТУ снижается на $2,7\text{--}3,3\%$ по сравнению с расчетным.

Литература

1. **Мошкарин А. В., Мельников Ю. В., Торгов В. В.** Анализ показателей работы ПГУ-325 на частичных нагрузках. Вестник ИГЭУ, вып. 2, 2009. С. 3–10.
2. **Богомолова Т. В., Калинина Л. К.** Компьютерное моделирование переменных режимов паровой турбины ПГУ в среде DELPHI Доклады на международной конференции «Информационные средства и технологии», М., т. 2, 2002

*К. Б. Ольшанников, студент;
рук. А. Д. Трухний, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ТЭЦ

Использование ПГУ в российской теплоэнергетике началось 18 лет назад, и теперь на их долю приходится более 10% установленной мощности электростанций.

Вводимые энергоблоки ПГУ отличаются высокими технико-экономическими показателями: их КПД при работе на газообразном топливе достигает 62%, в то время как КПД традиционных паросиловых энергоблоков не превышает 42%. [1]

Основными типами, внедряемыми ПГУ в России, являются:

- 1) утилизационные ПГУ;
- 2) ПГУ с параллельной схемой;
- 3) ПГУ со сбросом выхлопных газов ГТУ в энергетический котел.

В 2014 г. был запущен проект модернизации Казанской ТЭЦ-3, в котором реализуется ПГУ с параллельной схемой на базе ГТУ мощностью 388 МВт.

В работе была рассмотрена схема реализации ПГУ с параллельной схемой на базе мощной ГТУ GE 9HA.01. Произведен балансовый расчет тепловой схемы ПГУ, определены паропроизводительности контуров котла-утилизатора, рассчитана температура уходящих газов. С помощью балансового расчета была определена величина замещаемой мощности устаревших паровых турбин и суммарной мощности ПГУ и ее показателей.

В данной работе также был произведен расчет трехконтурной одновальной утилизационной парогазовой установки на базе мощной ГТУ GE 9HA.01, установленной во Франции в городе Бельфор на ТЭС Бушен, компании EDF.

Установка состоит из одной газовой турбины фирмы GE 9HA.01, котла-утилизатора паропроизводительность 133 кг/с и одной паротурбинной установки мощностью 183 МВт.

Коэффициент полезного действия ПГУ составил 61%, а суммарная мощность 580 МВт.

Выполнено сравнение показателей эффективности и экономичности двух установок.

Литература

1. **Трухний А. Д.** Парогазовые установки электростанций: учебное пособие для вузов. Издательский дом МЭИ, 2013. 648 с.

С. К. Осипов, асп.; В. О. Киндра, асп.;
рук. Шевченко И. В., д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ВЫХОДНОЙ КРОМКИ ЛОПАТОК ПЕРСПЕКТИВНЫХ ГАЗОВЫХ ТУРБИН

Рост термодинамических параметров рабочей среды на входе в газовую турбину сопровождается увеличением количества охлаждаемых ступеней и необходимостью повышения числа Рейнольдса в охлаждаемых каналах лопаток. Соответственно, применяемые с целью интенсификации теплообмена турбулизаторы потока должны обладать высокой эффективностью при повышенных числах Рейнольдса.

Перспективным решением для повышения интенсивности охлаждения выходных кромок лопаток газовых турбин второй и третьей ступеней является применение шахматного пучка штырьково-луночных интенсификаторов теплоотдачи, позволяющих повысить число Нуссельта по сравнению со штырьковыми турбулизаторами потока на 7–13% в диапазоне чисел Рейнольдса от 20 000 до 85 000 [1]. При этом важной особенностью предлагаемой конструкции интенсификаторов является увеличение интенсивности теплоотдачи с увеличением числа Рейнольдса (рис. 1).

Результаты работы получены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках выполнения соглашения № 14.577.21.0210 от 26.09.2016 (уникальный идентификационный номер RFMEFI57716X0210).

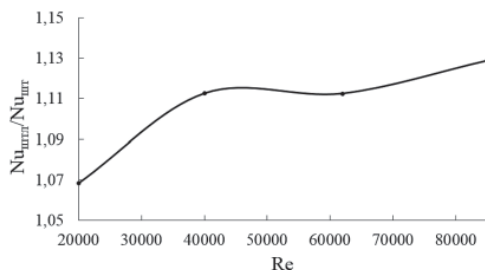


Рис. 1. Распределение отношения тепловых характеристик $Nu_{штыр}/Nu_{штг}$ в зависимости от числа Re

Литература

1. Киндра В. О., Осипов С. К., Егоров А. А., Рогалев А. Н., Шевченко И. В. Исследование и разработка штырьково-луночного интенсификатора теплоотдачи для высокоэффективных теплообменных устройств // Новое в российской электроэнергетике. — 2017. — №. 9. — С. 76–89.

*С. К. Осипов асп.; Рогалев А. Н., к.т.н. доц.;
рук. А. Е. Зарянкин д.т.н. профессор (НИУ «МЭИ»)*

ПРОБЛЕМЫ ДВУХЪЯРУСНЫХ ЦНД И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Радикальный путь повышения экономичности паротурбинных блоков сводится к стремлению максимально увеличить термический КПД термодинамического цикла за счет повышения начальных параметров пара и максимального снижения температуры конденсации пара. Процесс повышения начальной температуры пара и давления происходит скачками через определенные периоды времени. Сейчас наступил очередной период такого скачка с очередным повышением начальной температуры пара с 540–560 до 620–650°C и даже выше путем использования в паровых турбинах дорогих сталей на никелевой основе. Соответственно, острую актуальность приобрела проблема снижения удельной металлоемкости мощных конденсационных турбин и главный путь в этом направлении — поиск решений, обеспечивающих максимальное снижение числа ЦНД при сохранении мощности, либо получение максимально возможной мощности при сохранении числа цилиндров. Решение этой задачи сводится к созданию ЦНД с максимально возможным пропуском пара в конденсатор через один поток. Реально здесь можно рассматривать только два варианта. Либо увеличивать длины лопаток последних ступеней, либо переходить к ЦНД с полуторным выхлопом, с сохранением существующих максимальных длин лопаток. В докладе рассматривается вариант с двухъярусным ЦНД [1]. При таком решении возникают следующие проблемы, решению которых и посвящена настоящая работа:

1. Проблема организации подвода к первой ступени верхнего яруса
2. Проблема организации отвода пара на его регенеративный подогрев.
3. Проблема создания надежной и экономичной двухъярусной лопатки в предпоследней ступени турбины

Литература

1. **Zaryankin A., Rogalev A., Garanin I., Osipov S.** (2015) Methods of low-pressure cylinders throughput improvement for construction of ultra-high capacity generation units. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 195, 149–160

Г. В. Палагин, асп.; рук. К. А. Плешанов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ И МЕТОДИКИ ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА ЖАРОТРУБНО-ДЫМОГАРНОГО КОТЛА МОЩНОСТЬЮ 3 МВт

Развитие современной энергетики в России, во многом, сконцентрировалось на установках малой мощности. Они не требуют больших инвестиций и позволяют обеспечить нужды автономных потребителей тепловой и электрической энергии. В малой энергетике большое распространение получили жаротрубно-дымогарные котлы.

Цель работы состоит в исследовании работы жаротрубно-дымогарного котла, и описании происходящих в нем процессов теплообмена.

В предыдущих работах по данному направлению, связанных с изучением работы реверсивных топков [1, 2], выяснилось, что они имеют повышенное тепловосприятие по сравнению с традиционными. Объект в данной работе был выбран таким образом, чтобы исключить динамическое воздействие продуктов сгорания на стенку торцевого участка реверсивной жаровой трубы, который однозначно повышает тепловосприятие.

Расчетные исследования работы котла проводились на основании методики расчета топочной камеры, изложенной в [3], при помощи программы *Boiler Designer* [4].

Исследования прямой топки жаротрубно-дымогарного котла показали, что она является форсированной и ее конвективное тепловосприятие может достигать 30% от ее общего тепловосприятия. При этом температура продуктов сгорания на выходе из топки снизилась на с 1221°C до 1080°C.

Дымогарные трубы в жаротрубно-дымогарном котле работают в более благоприятных условиях по сравнению с трубами водотрубных котлов. По итогам исследований их коэффициент тепловой эффективности составил 0,95.

Литература

1. Плешанов К. А., Палагин Г. В. Тепловой расчет жаротрубного котла // Труды Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования» — ИНФОРИНО-2016 (Москва, 12–13 апреля 2016 г.). — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. С. 394–398.
2. Хаустов С. А., Заворин А. С., Фисенко Р. Н. Численное исследование процессов в жаротрубной топке с реверсивным факелом // Известия Томского политехнического университета, 2013. № 4 С. 43–47.
3. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). Под ред. Н. В. Кузнецова и др., М.: Энергия, 1973.
4. Супранов В. М., Штегман А. В., Фоменко Е. А. Оценка возможности перевода котлов ТП-14А Кумертауской ТЭЦ на сжигание угля марки БЗ верхне-сокурского месторождения // Теплоэнергетика, 2016. № 4. С. 50–59.

А. Д. Пуцын, студ.; рук М. Н. Зайченко, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ В КОТЛЕ ТПЕ-430 ПРИ РАСШИРЕНИИ ЕГО РАБОЧЕГО ДИАПАЗОНА

Структура генерирующих мощностей России на сегодняшний день обстоит следующим образом: основными источниками выработки электрической энергии являются АЭС, ТЭС, ГРЭС и ГЭС. АЭС всегда работают в базовой нагрузке. Как и у ГЭС, себестоимость выработки квт·ч у АЭС меньше, чем на ТЭС. С уверенностью можно утверждать, что ТЭЦ — это своего рода необходимость, так как ТЭЦ является источником не только электрической, а также тепловой энергии. При наступлении летнего периода года, когда потребность населения в тепловой энергии невысока, ТЭЦ начинают работать в конденсационном режиме. Ночью, когда падает потребность населения в электрической энергии, ТЭЦ особенно невыгодно эксплуатировать свои мощности. Таким образом, большую часть времени года ТЭЦ выгодно разгружать свои мощности и работать на пониженных нагрузках.

В связи с этим необходимо, чтобы газомазутные паровые котлы позволяли снижать нагрузку до 30% от номинальной, а работающие на твердом топливе по крайней мере до 60%. Однако по причине устаревания котлы зачастую не могут разгрузиться до таких нагрузок.

При реконструкции паровых котлов с целью повышения их маневренности, необходимо проводить целый комплекс мер для обеспечения надежной работы оборудования во всем диапазоне нагрузок.

Целью данной работы является проведение исследований работы котла ТПЕ-430 для определения необходимых мероприятий, позволяющих расширить диапазон рабочих нагрузок. С этой целью с помощью программы «Boiler Designer» [1–3] необходимо решить задачи: определение надежности циркуляции среды в испарительном контуре котла; расчет температурного режима работы перегретых поверхностей нагрева (НРПП, ШПП, КПП).

Литература

1. **Плешанов К. А., Стерхов К. В., Росляков П. В.** Устойчивость естественной циркуляции в контуре вертикального котла-утилизатора с горизонтальным расположением труб испарителя при пуске. Электрические станции. 2016. № 5. С. 21–26.
2. **Плешанов К. А., Стерхов К. В.** Расчет циркуляции котла-утилизатора Пр-76-3.3-415 // Пакет прикладных программ для расчета теплоэнергетического оборудования: Труды Международной научно-практической конференции «Boiler Designer-2014». — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2014. С. 77–82.
3. **Росляков П. В., Зайченко М. Н., Мельников Д. А., Верещетин В. А., Raivo Attikas.** Использование углей для совместного сжигания с эстонскими сланцами. Теплоэнергетика. 2016. № 3. С. 34–42

А. Д. Пуцын, студ.; рук. М. Н. Зайченко, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ В ЭКРАННЫХ ТРУБАХ КОТЛА ТПЕ-430 ПРИ РАСШИРЕНИИ ЕГО РАБОЧЕГО ДИАПАЗОНА

Структура генерирующих мощностей России на сегодняшний день обстоит следующим образом: основными источниками выработки тепловой и электрической энергии являются АЭС, ТЭЦ, ГРЭС и ГЭС. АЭС всегда работают в базовой (номинальной) нагрузке. Как и у ГЭС, себестоимость выработки квт·ч у АЭС меньше чем на ТЭС, работающих на угле либо газе. Можно утверждать, что ТЭЦ — это своего рода необходимость, так как ТЭЦ является источником не только электрической, а также тепловой энергии. При наступлении летнего периода года, когда потребность населения в тепловой энергии не высока, основную нагрузку по выработке электричества берут на себя АЭС, ГЭС, ГРЭС; ТЭЦ при этом начинает работать в конденсационном режиме и оказывается в положении, при котором дешево продает свои мощности. Ночью, когда падает потребность населения в электрической энергии, ТЭЦ особенно невыгодно эксплуатировать свои мощности. Таким образом, большую часть времени года ТЭЦ выгодно разгружать свои мощности и работать на пониженных нагрузках.

В связи с этим необходимо, чтобы паровые котлы, работающие на газе и мазуте позволяли снижать нагрузку до 30–40% от номинальной, а работающие на твердом топливе по крайней мере до 60%. При реконструкции паровых котлов с целью повышения их маневренности, необходимо проводить целый комплекс мероприятий, связанных с решением технических проблем, возникающих в ходе модернизации.

В данной работе представлены обработанные данные теплотехнических испытаний на котле ТПЕ-430. Выполнена модель в программном комплексе «Boiler Designer». Проведен гидравлический расчет топочных контуров на застой и опрокидывание потока и проведена оценка температурного режима перегревателей поверхностей нагрева: НРПП, ШПП, КПП. По результатам исследований предложены решения по реконструкции котла с целью достижения требуемых характеристик.

Литература

1. Гидравлический расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / Под ред. В. А. Локшина, Д. Ф. Петерсона, А. Я. Шварца. М.: Энергия, 1978, 256 с.

М. Ю. Роганов, студ.; рук. В. Г. Грибин, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ВЛАЖНО-ПАРОВЫХ ПОТОКОВ

В работе рассмотрен вопрос моделирования процессов конденсации переохлажденного потока пара в элементах проточных частей турбомашин. В данном случае формируются мелкодисперсные (диаметром не больше 1 мкм) частицы жидкой фазы, движущиеся без скольжения по отношению к потоку. Как показывают исследования, массовая составляющая этих капель в проточной части турбины составляет порядка 85–90% [1] от общей массы жидкой фазы, что делает математический подход по ее описанию крайне важным.

Движение двухфазного потока представляется как смесь и описывается комбинацией уравнений Навье–Стокса, уравнения неразрывности и сохранения энергии. Система замыкается моделью турбулентности $k-\epsilon$, описывающей вязкостные эффекты. Параметры потока определяются исходя из значений объемных концентраций его компонентов (пара и дискретных частиц жидкой фазы).

Основной задачей исследования является на основе литературных данных сформулировать модель, описывающую процессы фазового перехода в переохлажденных потоках. Обзор источников показал, что большинство подходов основаны на эмпирических представлениях о тепломассообмене в двухфазных средах [2]. Это приводит к введению в математическое описание свободных коэффициентов, оптимальные значения которых необходимо определить на основе верификации численного моделирования по экспериментальным данным.

Сформулированная модель описания движения двухфазного парового потока была верифицирована на 3 геометриях сопел Лавалья, для которых известны экспериментальные результаты. По данным верификации были подобраны свободные параметры модели, позволяющие наилучшим образом сопоставить экспериментальные и расчетные данные, а также сделаны основные выводы по направлению дальнейшего совершенствования расчетных методов.

Литература

1. **Young J. B., Yau K. K., Walters P. T.** Fog droplet deposition and coarse water formation in low-pressure steam turbines: a combined experimental and theoretical analysis // *Journal of Turbomachinery*. 1988. Vol. 110. № 2. P. 163–172.
2. **Jorg Starzmann et. al.** Results of the International Wet Steam Modelling Project // *Proceedings of Wet Steam Conference, 2016, Wet Steam Conference, Prague, 12–14 September*

Е. А. Рябцев, асп.; рук. Г. М. Моргунов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ МАКЕТНОГО ПОЛИРЯДНОГО НАСОСА

Полирядные насосы с разделением подачи на несколько рядов повышают антикавитационные качества гидромашин, благодаря меньшему вылету лопастей в проточной части и снижению неравномерности и нестационарности, в особенности проявляющихся при больших подачах. Представленные выводы о рабочем процессе трехрядного насоса [1] основаны на расчетно-теоретических исследованиях, проведенных с помощью различного программного обеспечения, и требуют экспериментального подтверждения. Для проведения испытаний был спроектирован пилотный образец полирядного осевого насоса и установлен на стенд в лаборатории НИУ «МЭИ» [2].

Испытания и дальнейшая обработка результатов были выполнены согласно рекомендациям ГОСТ 6134-2007 «Насосы динамические. Методы испытаний». Погрешности измерений соответствуют принятым стандартам. Серия экспериментов была проведена как с полирядной активной частью в составе агрегата, так и с монорядными осевыми рабочими органами, исполненными по традиционной схеме. Результаты испытаний позволили установить следующее:

- Кавитационные испытания показали, что гидромашинка с полирядной активной частью способна выдержать более глубокий вакуум, чем монорядный насос, что обусловлено снижением неравномерности в проточных частях и меньшим вылетом лопастей предлагаемой конструкции;
- Насос с полирядными рабочими органами имеет меньший КПД по сравнению с осевым монорядным насосом, однако, с перспективой дальнейшего повышения при устранении тех или иных технологических недостатков.

Литература

1. **Рябцев Е. А., Моргунов Г. М.** Полирядный осевой насос с мультипланными рабочими органами // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. Двадцать первая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Т. 4, М.: Издательский дом МЭИ, 2015, с. 128.
2. **Рябцев Е. А., Моргунов Г. М.** Разработка и изготовление пилотного образца полирядного конденсатного насоса // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. Двадцать третья Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Т. 3, М.: Издательский дом МЭИ, 2017, с. 266.

С. Е. Скрипов, студ.; рук. Г. В. Палагин, асп. (НИУ «МЭИ»)

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ПАРОГЕНЕРАТОР ПАРПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 1000 Т/Ч ДЛЯ АЭС С ВВЭР

Актуальность ядерной энергетики в современном мире растет. В России доля вырабатываемой электроэнергии на АЭС составляет около 18,6% от всего производимого на электростанциях электричества.

Основная выработка электроэнергии АЭС приходится на энергоблоки с водяными энергетическими реакторами (ВВЭР). Они используются на двухконтурных отечественных атомных электростанциях, где важным элементом блока являются горизонтальные парогенераторы (ПГ), конструкция которых отработана огромным эксплуатационным и технологическим опытом промышленности.

В данной работе разработана конструкция парогенератора АЭС горизонтального типа. Преимущества таких парогенераторов — хорошая отработанная конструкция по сравнению с вертикальными ПГ, но менее удобная компоновка с реактором. Также в горизонтальных парогенераторах: не используется трубная доска, где скапливается шлам; невозможна вибраций из-за низкой скорости среды во втором контуре.

Во время разработки конструкции автором была выполнена оптимизация конструкции парогенератора из условия достижения минимальных приведенных затрат на производство и эксплуатацию при соблюдении граничных условия:

- диаметр корпуса не более 4,5 м; возможна перевозка парогенератора по линиям железнодорожного транспорта;
- масса парогенератора не должна превышать 500 т;
- внутренний диаметр коллектора теплоносителя не менее 0,5 м.

Основные характеристики разработанного парогенератора АЭС:

- паропроизводительность — 1000 т/ч;
- тепловая мощность — 517 МВт;
- скорость теплоносителя — 3,7 м/с;
- площадь поверхности теплообмена — 4496 м²;
- максимальный внешний диаметр — 4014 мм;
- длина ПГ — 11366 мм;
- масса ПГ — 165 т.

О. Н. Сладкова, студ.; рук. В. Г. Грибин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ДВИЖЕНИЕ И ФОРМИРОВАНИЕ КРУПНОДИСПЕРСНОЙ ВЛАГИ В СОПЛОВОЙ ТУРБИННОЙ РЕШЕТКЕ

При создании последних ступеней паровых турбин работающих в условиях влажнопарового потока практически не учитывается движение крупнодисперсной влаги в межлопаточном канале. Наличие таких капель приводит к эрозионному износу рабочей лопатки, а также снижению экономичности всей турбины.

До недавнего времени, образование потоков капель в межлопаточном канале имело качественный характер определения, основанный на косвенных измерениях за фронтом решетки и численном моделировании [1].

Для исследования характеристик жидкой фазы в межлопаточном канале использовалась система лазерной диагностики потоков POLIS [2], которая включает в себя метод PTV (Particle Tracking Velocimetry). Достоинством данного метода является возможность определения векторных полей скорости на основе определения образов отдельных капель.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований плоской сопловой турбинной решетки. Эксперимент проводился на стенде контура влажного пара, тепловая схема которого включена в тепловую схему ТЭЦ МЭИ.

В работе рассмотрено влияние отношения плотностей фаз на характер формирования крупнодисперсной влаги в межлопаточном канале.

На основе полученных результатов определены характерные потоки капель и источники их возникновения. Наибольший интерес представляют потоки капель, сформированные в результате взаимодействия влаги, образованной перед исследуемым объектом, со стенками межлопаточного канала. В результате в работе были определены области их формирования и основные характеристики.

Полученные экспериментальные данные позволяют дать рекомендации: для проектирования профилей турбинных решеток, работающих в условиях влажнопарового потока; по модернизации и разработке активных методов по борьбе с эрозией рабочих лопаток.

Литература

1. Дейч М. Е. Газодинамика решеток турбомашин. М.: Энергоатомиздат, 1996. 528 с.
2. Грибин В. Г. и др. Влияние режимных параметров паротурбинной установки на характер распределения потоков частиц жидкой фазы за изолированной сопловой решеткой во влажно-паровом потоке // Промышленная энергетика. 2015. № 11.

*И. С. Сотников, студ.;
М. Н. Зайченко, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И РАСХОДА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВА И КОЛИЧЕСТВА ОКИСЛИТЕЛЯ

Традиционно в энергетических установках рассматриваются случаи сжигания топлива с количеством окислителя стехиометрическим или с избытком последнего. По этой причине нормативные методики [1] позволяют рассчитать состав и расход продуктов сгорания при полном окислении топлива. Для случаев, когда окислителя недостаточно для полного сжигания топлива, данные методики не применимы. Кроме того в качестве окислителя рассматривается исключительно воздух.

Одним из путей развития энергетических установок, реализующих сжигание твердого топлива, является замещение воздуха смесью, состоящей из окислителя (кислорода) и газов рециркуляции. Такое направление получило название «кислородное сжигание» (далее КС).

КС за рубежом активно исследуется и применяется как в котлах с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС), так и в пылеугольных котлах.

Его использование обусловлено, тем, что в азот в уходящих газах практически отсутствует. Это позволяет избежать внедрения мероприятий по азотоочистке [2]. Еще одной особенностью КС является существенно меньший массовый расход уходящих газов, основным компонентом которых является диоксид углерода. Это обстоятельство позволяет улавливать CO_2 , то есть не производить выбросы парникового газа.

Котлы с ЦКС имеют ряд преимуществ перед обычными пылеугольными котлами при использовании КС. Кипящий слой благодаря своей турбулентной природе обеспечивает лучшее смешивание твердых частиц с газо-кислородной смесью. Это позволяет добиться наиболее полного выгорания и не требуется запас по α_t [3].

Существующие методики расчета химического состава и количества продуктов сгорания не применимы к КС. В связи с этим целью данной работы является исследование химического состава и расхода продуктов сгорания в зависимости от состава и количества окислителя.

Литература

1. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) / под ред. Кузнецова Н. В. и др. — М.: Энергия, 1973.
2. Супранов В. М., Рябов Г. А., Мельников Д. А. Исследование возможности и целесообразности работы котла Пп-1000-25-585 с циркулирующим кипящим слоем в режиме кислородного сжигания топлива // Теплоэнергетика. 2011. № 7
3. Супранов В. М., Баторшин В. А., Штегман А. В., Мельников Д. А. Исследование возможности и целесообразности работы котла Пп-1900-25-570 КТ в режиме кислородного сжигания топлива // Теплоэнергетика. 2012. № 8

*Н. А. Старостенков, студент;
рук. И. А. Зюбин, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПНЕВМОАВТОМАТИКИ НА БАЗЕ СТРУЙНОЙ ТЕХНИКИ

Системы струйной автоматики хорошо зарекомендовали себя в различных отраслях промышленности, где необходима высокая надежность и взрыво-пожаробезопасность. Однако, определенная технологическая сложность проектирования управляющих блоков ограничивала общепромышленное применение струйной автоматики. В то же время, достаточно широкое применение нашли системы цикловой автоматики на базе электромагнитных реле, для которых применимы системы автоматизированного проектирования электронных устройств.

Комплексы автоматизированного проектирования электроники позволяют как выполнить оформление принципиальной схемы, так и проверить ее работоспособность. Распространенным инструментом является система SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis).

Применение программных комплексов проектирования позволяет значительно сократить цикл разработки систем пневмоавтоматики на базе струйной техники и минимизировать возможность конструкторской ошибки. Одной из типичных ошибок является некорректный учет низкой нагрузочной способности струйных элементов по сравнению с их электронными аналогами.

В работе применена модель струйного элемента, которая включает в себя идеализированный логический элемент на входе и выходе которого установлены резисторы. Идея расчета резисторов проста — выходной резистор оказывается подключен последовательно с группой входных резисторов, которые подключены друг другу параллельно. Соответственно, образуется делитель напряжения и при подключении к выходу элемента такого числа элементов, которое больше его нагрузочной способности уровень сигнала падает ниже уровня переключения и эмуляция работы схемы нарушается. Выполнено формирование библиотеки основных элементов пневмоавтоматики для программы LTSpice [1]. В качестве примера использованы элементы ВОЛГА, выпускавшиеся серийно [2]. Составлена схема загрузочного устройства с двумя пневмоцилиндрами и проверена ее работоспособность.

Литература

1. **Володин В. Я.** LTSpice. Компьютерное моделирование электронных схем // БХВ-Петербург, 2010, — 392 с.
2. **Сысоева И. Н.** Изучение конструкций и принципа действия пневматических устройств. Учебное пособие // ЮРГТУ (НПИ), 2002, — 69 с.

Д. Р. Сверчков, студ.; рук. А. Д. Трухний, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ГТУ ДЛЯ ПГУ В РОССИИ

В настоящее время можно констатировать, что российское энергомашиностроение не сумело создать ГТУ даже средней мощности, пригодную для работы в составе ПГУ. Причина этого лежит, во-первых, в тех социальных катаклизмах на рубеже 1990-х гг., которые потрясли наше государство, и, во-вторых, в отсутствии необходимой финансовой поддержки со стороны государства в период образования акционерных обществ, не заинтересованных развитии газотурбинных технологий [1].

Процесс наладки собственного производства ГТУ с учетом имеющегося отставания займет несколько лет. Одним из предложенных вариантов развития ГТУ в России является продолжение импорта зарубежных установок, который получил интенсивное развитие в период реформирования РАО «ЕЭС России», что является губительным для отечественного газотурбостроения и для ряда других высокотехнологичных отраслей промышленности.

По мнению большинства специалистов, организация лицензионного производства ГТУ — единственно возможное и имеющее перспективы решение. При этом необходимо, чтобы отечественные специалисты в дальнейшем принимали участие в совместной работе по модернизации действующих и созданию новых ГТУ следующих поколений. В процессе освоения лицензионных технологий доля локализации производства в РФ должна постоянно возрастать и в результате включать в себя производство охлаждаемых лопаток проточной части, камер сгорания, всех ступеней компрессоров и турбины, а также ротора. При правильной политике в области производства первая «российская ГТУ» большой мощности (в которой доля деталей отечественного производства будет более 50–70%) появится на рынке примерно через пять лет.

Окончательное решение вопроса возможно только при создании полноценного отечественного конструкторского бюро при государственной поддержке.

Литература

1. Основы современной энергетики: учебник для вузов: в 2 т. / под общей редакцией чл.-корр. РАН Е. В. Аметистова. Том 1. Современная теплоэнергетика / А. Д. Трухний, М. А. Изюмов, О. А. Поваров, С. П. Малышенко; под ред. А. Д. Трухния. — 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — 512 с., ил.

*В. Е. Чумак, А. Н. Кравченко студ.;
рук. О. М. Митрохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА В САЕ-МОДУЛЕ SOLIDWORKS SIMULATION

Одним из наиболее ответственных и напряженных элементов турбомашин является замковое соединение рабочих лопаток, которое в значительной степени определяет их надежность.

Прочность элементов турбомашин определяется расчетным или опытным путем. Очевидно, что проведение экспериментальных методов исследования является трудоемким и дорогостоящим мероприятием, в то же время уровень развития современной вычислительной техники позволяет широко использовать численные методы расчета.

Из расчетных методов наиболее совершенным для определения напряжений является метод конечных элементов (МКЭ) [1], на этом методе и основан САЕ (computer-aided engineering) модуль SolidWorks Simulation, предназначенный для проведения прочностного анализа.

Конечно, проведение прочностного анализа с использованием численного моделирования не может полностью заменить экспериментальные исследования, однако позволяет значительно сократить объем экспериментальных работ.

С целью оценки прочности замкового соединения рабочей лопатки первой ступени турбины К-1200-160/3000 для АЭС с реактором БН-1200 в программном комплексе SolidWorks была создана 3D модель хвостовика.

Проведенный прочностной анализ хвостовика с использованием САЕ-пакета SolidWorks позволил получить наглядную эпюру распределения напряжений в нем, представленную на рис. 1. Эти результаты подтвердили и несколько уточнили данные, полученные при расчете по упрощенным методикам.

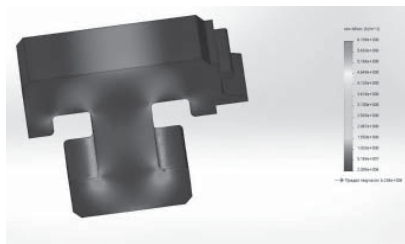


Рис. 1. Трехмерная эпюра эквивалентных напряжений по Мизесу

Литература

1. **Костюк А. Г.** Динамика и прочность турбомашин. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 476 с.

А. Д. Пахилова, Р. Т. Алпысбаева, студ.;
рук. О. М. Митрохова, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ТЭЦ

Одним из перспективных направлений реконструкции ТЭЦ с сохранением действующего оборудования является наращивание энергетических мощностей с использованием парогазовых технологий.

С этой целью рассмотрена возможность технического перевооружения действующих блоков на базе турбин Т-250/300-23,5 ТМЗ путем газотурбинной надстройки с вытеснением промежуточного перегрева из энергетического котла. Очевидно, что при такой реконструкции газотурбинная установка (ГТУ) должна обеспечивать возможность получения пара с температурой на уровне $t_{\text{пн}}=540^{\circ}\text{C}$.

Вторым условием являлось обеспечение достаточно низкой температуры уходящих газов ($\Theta_{\text{д}}=100^{\circ}\text{C}$) за котлом-утилизатором (КУ) для более эффективного использования их теплоты. Для обеспечения этого условия в КУ необходимо устанавливать дополнительные поверхности нагрева воды конденсатно-питательного тракта традиционной паросиловой установки (ПСУ), т. е. осуществлять вытеснение регенерации.

Поскольку частичное или полное отключение регенеративных отборов ведет к росту расхода пара через последнюю ступень и как следствие к перегрузке ее рабочих лопаток напряжениями изгиба [1], третьим граничным условием являлось поддержание постоянного пропуска пара в конденсатор через последнюю ступень.

По номенклатурным каталогам энергетических ГТУ подбирались установки удовлетворяющие данным, полученным в результате вариантных расчетов тепловой схемы (см. табл. 1).

Таблица 1. Техничко-экономические показатели энергоблока с турбиной Т-250/300-23,5

Показатель	Исходная схема	Вытеснение регенерации			
		10%	20%	30%	≈100%
Расход пара $G_{\text{р}}$, кг/с	231,8	222,0	214,5	207,3	159,0
Мощность ПТУ $N_{\text{э}}^{\text{пту}}$, МВт	300,0	277,6	273,4	269,4	233,5
Мощность ПГУ $N_{\text{э}}^{\text{пгу}}$, МВт	–	363,6	358,0	377,4	375,5
КПД КУ $\eta^{\text{ку}}$	–	0,866	0,891	0,885	0,835
КПД ПСУ по выработке ЭЭ $\eta_{\text{э}}^{\text{псу}}$	0,455	0,421	0,418	0,413	0,368
КПД ПГУ по выработке ЭЭ $\eta_{\text{э}}^{\text{пгу}}$	–	0,510	0,518	0,522	0,496
Разгрузка энергетического котла, %	–	4,2	7,5	10,6	31,4
Степень бинарности β	–	0,330	0,332	0,382	0,548

Литература

1. Трухний А. Д. Парогазовые установки электростанций. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 667 с.

А. Ю. Ревенко, асп.;
рук. О. М. Митрохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В БЕЗДИФFUЗОРНОМ ВЫХЛОПНОМ ПАТРУБКЕ

Мировой рост потребности в электроэнергии обуславливает стремление к сбережению ресурсов, которое в первую очередь можно обеспечить за счет повышения эффективности паротурбинного оборудования ТЭС.

Определенные резервы повышения экономичности турбоустановок имеются в цилиндрах низкого давления (ЦНД), доля мощности которых достигает до 2/3 от мощности турбины. Так, например, по данным ЛМЗ модернизация только выхлопного патрубка позволяет увеличить средневзвешенный КПД ЦНД до 0,8%.

Очевидно, что наряду с модернизацией выхлопных патрубков, находящихся в эксплуатации паровых турбин, вопросы, связанные с созданием высокоэффективных конструкций выхлопных патрубков для разрабатываемых турбин, являются не менее актуальными.

Основной проблемой при создании эффективных выхлопных патрубков являются жесткие габаритные ограничения [1]. Поэтому для определения оптимальных габаритных размеров была создана серия 3D моделей бездиффузорного выхлопного патрубка паровой турбины с подвальным расположением конденсатора в программном комплексе SolidWorks.

Численное моделирование процесса течения в проточной части патрубка (см. рис. 1) проводилось в программном комплексе ANSYS Fluent с последующей верификацией вычислений с результатами натурных испытаний. Сравнение результатов численных и экспериментальных исследований показало, что погрешность находится в рамках допустимой для инженерных расчетов $\pm 2,5\%$.

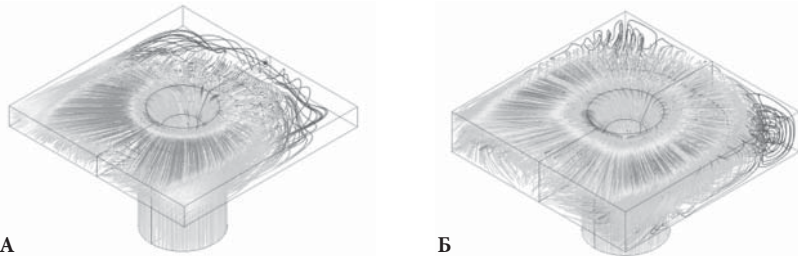


Рис. 1. Линии тока в выхлопном патрубке: А) $L_1=1,07$; Б) $L_1=2,13$

Проведенные исследования показали возможность даже в бездиффузорных патрубках обеспечить приемлемый уровень потерь энергии при величинах относительного осевого размера $L_1 \geq 2$.

Литература

1. Зарянкин А. Е., Симонов Б. П. Выхлопные патрубки паровых и газовых турбин. М.: Издательство МЭИ, 2002. — 274 с.

К. Д. Соловьев, А. В. Скачкова студенты;
рук. О. М. Митрохова, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАЧАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПАРА НА КПД СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ОЦР

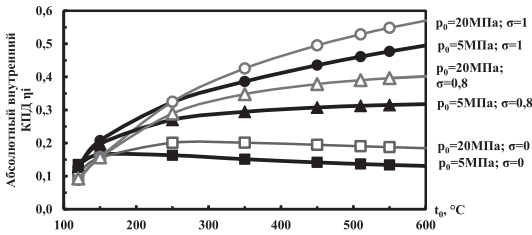


Рис. 1. Влияние начальных параметров давления p_0 и температуры t_p , степени регенерации σ на абсолютный внутренний КПД η_i ОЦР

В последнее время все большее внимание уделяется возможности применения низкокипящих теплоносителей (НКТ), в первую очередь, для создания установок, утилизирующих низкопотенциальную энергию [1]. Наряду с этим несомненный интерес представляет исследование эффективности использования НКТ, имеющих необхо-

димую термостойкость, для реализации и средне- и высокотемпературных циклов.

В качестве рабочего тела, обладающего достаточной термостойкостью, для реализации сверхкритического органического цикла Ренкина (ОЦР) рассматривался фторуглерод RC318. Давление в конденсаторе оценивалось по среднегодовой температуре охлаждающей воды (+15°C) и принималось равным $p_k=0,3$ МПа во всем диапазоне изменения начальных параметров.

Анализа данных, полученных в результате вариантных расчетов тепловых схем (см. рис. 1), показывает следующие основные особенности:

- вследствие высокой температуры пара после турбины целесообразно при $t_p > 150^\circ\text{C}$ осуществлять регенерацию тепловой энергии в цикле;
- при низких начальных температурах повышение давления свежего пара ведет к снижению экономичности цикла, причем при росте степени регенерации диапазон этих температур увеличивается.

Литература

1. Technoeconomic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems / S. Quoilin, M. Van Den Broek, S. Declaye et al. // Renewable a Sustainable Energy Rewiews. — 2013, vol. 22. — P. 168–186.

В. А. Власов, асп.; рук. О. М. Митрохова, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ТУРБИНЫ ДЛЯ МОДУЛЬНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ, РАБОТАЮЩЕЙ НА ОСНОВЕ ОЦР

В современном развивающемся мире, где энергопотребление неумолимо растет, особое значение приобретают вопросы энергосбережения. Одним из основных направлений развития энергосберегающих технологий является использование низкопотенциальной энергии. Этому вопросу в последнее время в России уделяется все большее внимание.

Как известно для утилизации низкопотенциального тепла требуется рабочее тело с низкой температурой кипения, поэтому перспективным направлением является применение модульных энергоустановок, работающих по органическому циклу Ренкина (ОЦР).

Для создания таких установок, например, можно использовать относительно новое, небольшое модульное устройство на базе микротурбин (единичной электрической мощностью до 100 кВт) [1].

Проведенная проработка тепловых схем для разрабатываемого модуля, использующего в качестве рабочего тела фторуглерод с начальными параметрами пара $p_0=2,15$ МПа и $t_0=400^\circ\text{C}$ и расходом $G_0=0,715$ кг/с, показала необходимость использования рекуператора после турбины для повышения эффективности цикла.

Вариантные расчеты проточных частей турбин различных типов (осевых, центробежных, радиальных центробежных и др.), а также оценка их технических характеристик и энергетических показателей, позволили сделать вывод, что центробежная радиально-осевая турбина является самой перспективной. Из всех прорабатываемых вариантов она имеет самый высокий относительный внутренний КПД равный 70,2% и внутреннюю мощность — 22,6 кВт.

Трехмерное профилирование направляющих и рабочих решеток (рис. 1) оптимального варианта турбины выполнено в программе ANSYS BladeGen с последующей подготовкой сетки с помощью программы ANSYS TurboGrid. Исследование течения в проточной части проводилось в программном комплексе ANSYS CFX.



Рис. 1. Модель рабочего колеса центробежной радиально-осевой турбины

Литература

1. **Никитин О. В.** Микротурбины в борьбе за потребителя // «Экологические системы», № 11, сентябрь 2012. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://journal.esco.co.ua/2012_11/art184.htm.

А. И. Юняткин, Д. А. Трохин, студенты; А. В. Гурьянова, асп.;
рук. О. М. Митрохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ CAD/CAE-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛОПАТОЧНЫХ ВЕНЦОВ

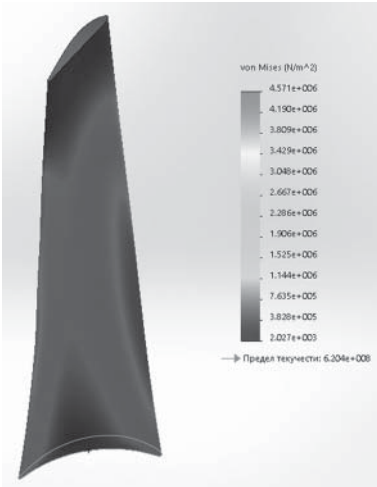


Рис. 1. Объемная эпюра напряжений изгиба

Проектирование новых или модернизация существующих проточных частей низкого давления турбин не возможны без разработки высокоэффективных последних ступеней турбины. Проблема создания экономичных и надежных лопаточных аппаратов турбин резко возрастает с увеличением высоты лопаток последних ступеней.

Принимая во внимание высокую стоимость и сложность изготовления моделей для натурных испытаний, для решения указанной проблемы в настоящее время широко используются численные методы исследования.

Создание и последующая доводка рабочей лопатки осевой турбины с $d/l=4,45$ проводились с помощью программы AutoBlade программного комплекса NUMECA. Данная программа позволяет осуществлять обмен

данными с рядом наиболее распространенных CAD (computer-aided design) систем.

Очевидно, что профилирование лопаточного аппарата необходимо проводить одновременно с расчетом напряжений и частоты собственных колебаний. Без такой оценки создание венцов не имеет смысла, особенно для ступеней низкого давления мощных паровых турбин.

Одним из инструментов, позволяющим проводить инженерный анализ, является программный комплекс SolidWorks со встроенными CAE (computer-aided engineering) модулем SolidWorks Simulation.

В качестве примера на рис. 1. представлены результаты расчета напряжений изгиба, вызываемых аэродинамическими силами.

Наибольшие значения изгибных напряжений достигаются не в корневом сечении лопатки, а на расстоянии $0,4l$ от него. При этом, как и ожидалось, максимальные значения напряжений $\sigma_{и} = 4,57$ МПа наблюдаются на входной кромке профиля, однако не превышают допускаемых напряжений на изгиб $[\sigma_{и,д}] = 30 \div 35$ МПа [1].

Литература

1. А. Г. Костюк. Динамика и прочность турбомашин. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 476 с.

*Г. С. Зубян, студент;
рук. К. А. Плешанов, к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРИБАРАБАННЫХ УСТРОЙСТВ КОТЛА ТГ-104 С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЕГО РАБОТЫ

Сургутская ГРЭС-1 заинтересована в продлении ресурса существующего оборудования как самого экономичного целесообразного способа выработки электрической и тепловой энергии.

На станции установлено 16 котлов ТГ-104. С 2000 г. на котлах ГРЭС участились повреждения испарительных поверхностей нагрева, как чистых, так и солевых отсеков. Почти половина повреждений приходится на котел ТГ-104 (станционный номер № 13).

В данной работе на котле Сургутской ГРЭС-1 были выполнены комплексные мероприятия, (осмотры топочных поверхностей нагрева, осмотры и ревизия внутрикотловых устройств, расчеты циркуляции и сепарационных устройств и др.), направленные на выяснение возможных причин повреждения и их устранения. Была проведена подготовка котла ТГ-104 (станционный номер № 13) к комплексным испытаниям испарительного контура, как котла имеющего наибольшую повреждаемость экранов топки из всех котлов ГРЭС.

Для приведения характеристик контура циркуляции к проектным и повышения надежности циркуляции в испарительных контурах была проведена химическая очистка опускных труб чистого и солевого отсеков и прочистка дырчатых листов пароприемного потолка. Проходные сечения входных патрубков циклонов были увеличены. Поврежденные трубы экранов топки и сепарационные устройства чистого отсека были заменены. После этого было проведено исследование работы котла и надежность работы его элементов в соответствии с опытом [1, 2].

Литература

1. Гидравлический расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / Под ред. В. А. Локшина и др. М.: Энергия, 1978. — 256 с.
2. **Плешанов К. А., Стерхов К. В., Росляков П. В.** Устойчивость естественной циркуляции в контуре вертикального котла-утилизатора с горизонтальным расположением труб испарителя при пуске. Электрические станции. 2016. № 5. С. 21–26.

*А. Э. Эльмохлави, аспирант;
рук. В. Ф. Очков, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ, Москва)*

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИНАРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С СОЛНЕЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ДЛЯ УСЛОВИЙ ЕГИПТА

В докладе излагаются перспективы совместного использования бинарных энергетических установок и солнечных энергетических элементов при производстве электроэнергии для условий Египта.

Интегрированные системы солнечного комбинированного теплоэнергетического цикла (ISCC) сравнительно недавно были представлены в секторе энергетики как технология, альтернативная существующим традиционным раздельным решениям [1]. ISCC сочетает в себе преимущества солнечных установок (отсутствие выбросов углекислого газа и др.) с преимуществами установок комбинированного цикла (высокая эффективность и энергонасыщенность, независимость от погодных условий, времени суток и др.). Схемы ISCC могут работать с требуемой мощностью, используя ископаемое топливо, как днем, так и ночью. Подробные модели комбинированного цикла и солнечной энергии построены в компьютерной среде ThermoFlex® (см. рис. 1) и Mathcad [2] для оценки производительности различных интегрированных систем солнечной комбинированной системы.

Основной целью данного исследования является разработка термодинамической, экономической и математической модели комбинированного цикла гибридной установки на солнечной энергии и на ископаемом топливе. Эта модель будет

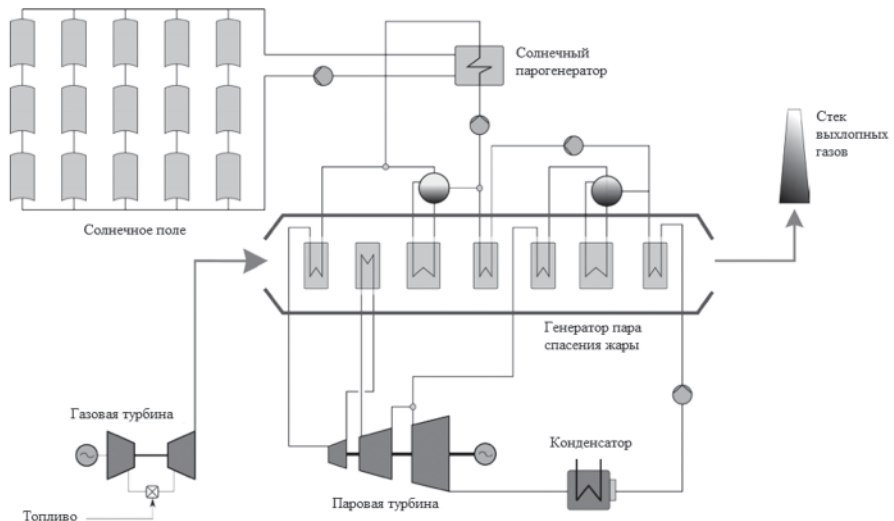


Рис. 1. Интегрированные системы солнечного комбинированного цикла (ИСКЦ)

использоваться для анализа термодинамических характеристик установок в погодных условиях Египта. В связи с этим разрабатывается компьютерная имитационная модель с использованием доступного программного обеспечения (Mathcad). Эта имитационная модель будет верифицирована с использованием результатов, доступных в литературе. Проверенный код будет использоваться для технико-экономической оценки различных концептуальных конструкций комбинированного цикла. Для оптимальной работы на основе технико-экономического анализа будут предложены модификации конструкции. Конкретные цели:

1. Разработка математической модели цикла на уровне компонентов и интеграция на уровне цикла.
2. Разработка ассимиляционной модели для гибридного цикла с использованием компьютерных программ, таких как Mathcad, Maple, ThermoFlex и др.
3. Использование модели для измерения, анализа и оптимизации гибридного цикла для различных конфигураций интеграции с различным процентом солнечной доли в погодных условиях Египта.

Литература

1. Дудолин А. А., Ани Арноб Алам, Создание парогазовых энергоблоков с солнечными парогенераторами.
2. Thermal Engineering Studies with Excel, Mathcad and Internet. Ochkov, Valery, Orlov, Konstantin, Voloshchuk, Volodymyr. Editor: Rogalev, Nikolay (Ed.). Springer, 2016.

Ф. Д. Дудукин, студ.;
рук. И. С. Антаненкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ФТОРОРГАНИЧЕСКИЕ РАБОЧИЕ ВЕЩЕСТВА ДЛЯ СУДОВЫХ УТИЛИЗАЦИОННЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Перспективы внедрения технологий производства электроэнергии на основе утилизации сбросной теплоты с помощью теплосиловых циклов на низкокипящих рабочих телах (ORC) в России имеет большое научное и практическое значение. Большинство промышленных и технологических процессов, работа механизмов и устройств зачастую сопровождаются выделением большого количества низкопотенциальной (сбросной) теплоты, которая, как правило, полезно не используется и рассеивается в окружающей среде. Среди прочих, такого рода источником может быть теплота выхлопных газов газотурбинных двигателей и дизель-генераторов на судовых установках [1].

Таблица 1. Параметры судовых двигателей

Тип	Фирма	$N_{\text{ном}}$, МВт	КПД, %	t_p , °C
LM2500+G4	«General Electric»	35,3	41,2	522
Allison 601-KB9	«Rolls-Royce»	6,45	33,0	530
SGT-500	«Siemens»	17,0	32,8	375
M75 РУ	«Сатурн»	4,46	32,6	441
M70 ФРУ	«Сатурн»	8,80	36,0	543

Данные о температурах газа на выходе из судовых двигателей позволяют судить о возможности реализации высокоэффективного и экологически безопасного (в сравнении с аналогами на других рабочих веществах) утилизационного теплосилового цикла Ренкина на фторорганическом рабочем веществе [2].

Расчет энергетической эффективности такого цикла для судового двигателя D2876LE 406, где температура на выхлопе достигает 350°C, на фторорганическом рабочем веществе декафторбутан (C_4F_{10}) позволил получить КПД 35% при давлении 12 МПа и температуре 300°C перед фреоновой турбиной, а также при температуре 10°C в конденсаторе установки.

Литература

1. **Беседин С. Н. и др.** Анализ эффективности ORC циклов для перспективной судовой утилизационной энергоустановки на основе компактного микротурбинного генератора мощностью 500 кВт // Морской вестник. 2013. №. 25. С. 33–35.
2. **Антаненкова И. С., Ветренко А. А., Сухих А. А.** Перспективные рабочие вещества для органического цикла Ренкина/Сборник «Прикладные исследования и технологии ART2017». 2017. С. 19–22.

И. Б. Лазарев, асп.;
рук. Т. В. Богомолова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ОСЕВОГО ДИФFUЗОРА КОНДЕНСАЦИОННОЙ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ С МАССОБМЕНОМ НА ПЕРИФЕРИЙНОМ ОБВОДЕ

Одним из способов повышения экономичности паротурбинных установок является установление диффузора за последней ступенью паровой турбины для снижения потерь с выходной скоростью. Наиболее эффективная форма такого диффузора — осевой конический диффузор, применение которого ограничивается однопоточными ЦНД паровых турбин средней мощности или однопоточными ЦНД для одновальных парогазовых установок с осевым расположением конденсатора.

В продолжение исследований [1] для разработки наиболее оптимальной конструкции диффузора проведены расчеты в пакете *ANSYS Fluent* (сетка с количеством ячеек 600000, модель турбулентности SST). Рабочее тело — водяной пар, шероховатость стенки диффузора задана в подпрограмме *Equivalent Sand Grain Roughness* ($y^+ = 0.75$), т. е. создавалась модель естественного пристеночного слоя.

Размеры диффузора составляют: $d_1 = 4.2$ м, диаметр втулки $d_{вт} = 1.8$ м = const, длина $L = 7$ м, угол раскрытия — 12° . Граничные условия на входе в диффузор имитировали выход из последней ступени: скорость $c_2 = 250$ м/с; окружная составляющая скорости $c_{2u} = 40$ м/с; условие $c_u r = const$. Для стабилизации течения в диффузоре применены следующие воздействия:

- 1) осевой вдув пара в пограничный слой в пристеночной области на расстоянии $0,1 L$ от входа с относительным расходом $0,06 G$;
- 2) отсос пограничного слоя на расстоянии, $0,1 L$ от входа с относительным расходом $0,06 G$;
- 3) для сравнения результатов также были проведены расчеты диффузора без массообмена.

Результаты расчетов показали, что оптимальным является диффузор с углом раскрытия 12° со вдувом, у которого коэффициент восстановления давления $\xi_{вос} = 0,286$, тогда как в других случаях наблюдаются отрывы от стенок и коэффициенты восстановления снижаются.

Литература

1. Богомолова Т. В., Лазарев И. Б. Расчет осевого диффузора за последней ступенью паровой турбины в пакете *Fluent*. Труды международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования». М.: 2016. Издательский дом МЭИ. С. 284–287.

*Щелоков Д. А., студент;
рук. К. А. Плешанов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С ПАРОВЫМ КОТЛОМ Е-120-9,8-540, СЖИГАЮЩИМ ФРЕЗЕРНЫЙ ТОРФ

Современное энергетическое оборудование работает в широком диапазоне изменения рабочих параметров. Основной задачей эксплуатации котельной установки является обеспечение длительной надежной работы с максимально возможной экономичностью [1]. Для этого необходимо исследовать характеристики энергетического оборудования при различных режимах его работы.

Для обеспечения надежной и наиболее экономичной эксплуатации котельной установки актуальным является исследование работы сушильно-мельничной системы при работе на частичных нагрузках котла. Изменяются параметры сушильного агента на входе в пылесистему, что влечет перераспределение статей теплового баланса. На определенных нагрузках происходит отключение части мельниц. Расход топлива может изменяться скачкообразно в зависимости от нагрузки.

В данной работе проведено исследование изменения основных характеристик работы сушильно-мельничной системы в зависимости от изменения нагрузки и их влияние на работу котла:

- статей теплового баланса;
- условий вентиляции мельницы;
- условий сепарации торфа.

Расчеты котла и пылесистемы проведены в соответствии с [2] и [3].

Со снижением нагрузки ухудшаются условия стабилизации процесса горения топлива. Отдельно необходимо исследовать предел снижения нагрузки котла по условиям воспламенения топлива [4] или предусмотреть дополнительные меры по обеспечению устойчивого горения такого высоковлажного топлива, как фрезерный торф.

Литература

1. **Росляков П. В., Attikas R., Зайченко М. Н., Плешанов К. А., Ионкин И. Л.** Исследование возможности раздельного и совместного сжигания эстонских сланцев и ретортного газа на ТЭС // Теплоэнергетика. 2015. № 10. С. 3–15.
2. **Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод.** Под редакцией Кузнецова Н. В. И др. — М.: Энергия, 1973.
3. **Расчет и проектирование пылеприготовительных установок котельных агрегатов. Нормативный метод.** — Л.: ЦКТИ, 1971.
4. **Хзмалян Д. М., Каган Я. А.** Теория горения и топочные устройства. М.: Энергия, 1976.

А. С. Яшкин, студент; рук. А. Е. Булкин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАЛОЭМИССИОННОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ НА БАЗЕ ПТК SPPA T-3000

Газотурбинный двигатель 110 (ГТД) является первой российской высокотемпературной газотурбинной установкой большой мощности [1]. Поэтому работа по ее усовершенствованию идет по сей день. Для этого на Ивановской ГРЭС был создан натурный стенд, целью которого является испытания модернизированных образцов ГТД-110 М.

Главным усовершенствованием ГТД на данный момент является установка новой трубчато-кольцевой малоэмиссионной камеры сгорания (МЭКС). Для корректной работы камеры сгорания (КС) на пусковых, номинальных и переходных режимах необходимо спроектировать алгоритмы управления топливной системой, удовлетворяющие всем техническим требованиям [2]. Для этого была разработана модель МЭКС, реализованная в программно-техническом комплексе (ПТК) SPPA T-3000, которая позволит проверить работоспособность схемы управления МЭКС, а также учесть возможные проблемы и внести корректировки в алгоритмы до начала натурных испытаний на МЭКС.

Управление двигателем и вспомогательным оборудованием на стенде осуществляется на базе программно-технического комплекса Graph CS и WinOS. Поэтому первый этап создания модели заключается в переводе алгоритмов из среды проектирования Graph CS в SPPA-T3000. На следующем этапе необходимо моделировать сигналы, которые приходят от исполнительных механизмов и датчиков. Эта задача решается путем обработки большого массива результатов натурных испытаний ГТД-110. Структурная схема модели представлена на рис. 1.

Такой подход позволяет максимально приблизить условия работы модели к реальным, что в дальнейшем поможет ускорить работу по устранению недочетов логического управления и по ее наладке еще до натурных испытаний МЭКС.

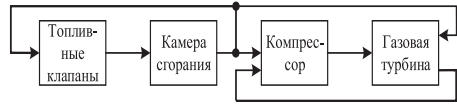


Рис. 1. Структурная схема модели

Литература

1. Костюк А. Г. Газотурбинные установки. — М.: Высшая школа, 1979.
2. Булкин А. Е. Автоматическое регулирование энергоустановок. — М.: МЭИ, 2009.

Е. А. Тюшкина, асп.; рук. С. С. Дмитриев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ ПРИ ДИФFUЗОРНОМ ТЕЧЕНИИ

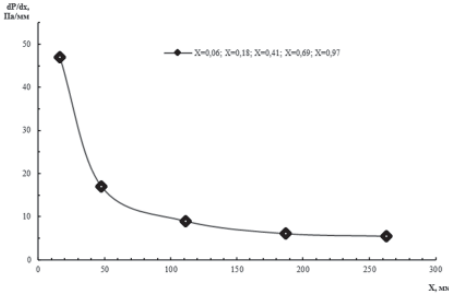


Рис. 1. Изменение давления вдоль отклоняющейся стенки

На основе экспериментально полученных распределений скорости в пограничном слое по длине плоской стенки при диффузорном течении проведен анализ изменения величины $\frac{\partial U}{\partial x}$ по высоте пограничного слоя.

Исследования были проведены для степени расширения диффузорного канала $\pi = 2,0$.

На рис. 1 показано изменение давления вдоль отклоняющейся стенки (P- давление, X — координата вдоль отклоняющейся стенки; $Y = y/\delta$, где y — расстояние от стенки, δ — толщина пограничного слоя).

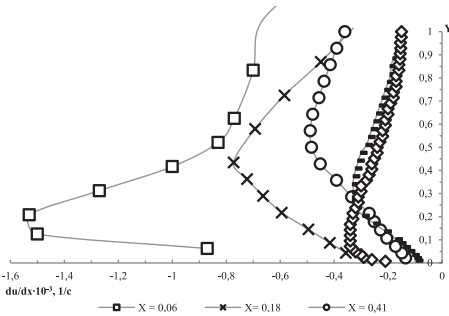


Рис. 2. Изменение продольных градиентов скорости

На рис. 2 показано изменение величины $\frac{\partial U}{\partial x}$ по высоте пограничного слоя.

Как видно, во всех сечениях наибольшему торможению подвергаются слои не у стенки, а находящиеся на расстоянии $Y = 0,05-0,5$, ниже интенсивность по потоку уменьшается.

Секция 49

ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ, НАДЕЖНОСТИ И КОНСТРУИРОВАНИЯ

Председатель секции — к. т. н., доцент С. Ф. Кузнецов
Секретарь секции — магистр В. Н. Зеликов

*Н. Абусаиф, асп.; Н. А. Стасенко, студ.;
рук. М. А. Каримбеков, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ СТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ УПРОЧНЕННУЮ УГЛЕРОДНЫМ НАНОМАТЕРИАЛОМ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

В данной работе представлены результаты микроиндентирования стальной поверхности модифицированной аморфным наноструктурированным углеродом с последующей обработкой пучком электронов с различной интенсивностью (см. табл. 1).

Несмотря на значительное количество работ, посвященных проблеме упрочнения конструкционных материалов в результате использования наноуглеродных покрытий с последующей обработкой высокоинтенсивными источниками энергии, до настоящего времени не было выполнено исследования зависимости характера упрочнения от параметров процесса, таких как толщина покрытия, энергия и интенсивность источника энергии, а также длительность обработки.

Таблица 1. Результаты измерения микротвердости образца после обработки электронным пучком

Параметры	Номер полосы на образце					Подложка
	1	2	3	4	5	
Ток пучка, мА	3	3.3	4.5	9.6	14.4	–
Плотность энергии пучка, Дж/см ²	144	158	216	460	690	–
Интенсивность пучка, кВт/см ²	0,48	0,53	0,72	1,53	2,28	–
Микротвердость, HV под нагрузкой 25 Г	–	346	171	–	177	185
Микротвердость, HV под нагрузкой 10 Г	–	733	404	–	196	202
Микротвердость, HV при одинаковой глубине отпечатка	–	658	404	–	222	233

Личный вклад авторов состоял в получении, обработке и обсуждении экспериментальных данных, анализе результатов работы, в установлении зависимости микротвердости образцов стали, содержащих наноуглеродное покрытие, от интенсивности электронного облучения.

Результаты работы можно использовать при создании прочных и износостойких покрытий на изделиях машиностроения.

А. А. Демченкова, студ.;
рук. В. П. Радин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

УСТОЙЧИВОСТЬ ТРУБОПРОВОДА НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

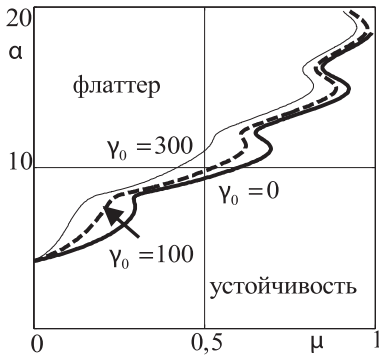


Рис. 1. Границы области устойчивости

α — параметр расхода), при различных законах изменения жесткости упругого основания.

В работе применялся динамический метод исследования устойчивости [1]. Уравнения возмущенного движения относительно вектора узловых перемещений $\mathbf{q} = \mathbf{q}_0 \exp(\lambda t)$, где λ — характеристические показатели, t — время, составлялись на основе метода конечных элементов [2]. Границы области устойчивости строились с использованием критерия Рауса–Гурвица, как нарушение условия $\forall \operatorname{Re} \lambda_k \leq 0$, где $k = 1 \div n$, n — число степеней свободы. Для защемленной на одном конце трубы и различных значений относительной жесткости основания $\gamma_0 = cl^4 / EI$, где c — коэффициент упругости основания, l — длина трубы и EI — изгибная жесткость трубы, указанные границы представлены на рис. 1. Результаты работы могут быть полезными при проектировании технических объектов, содержащих трубопроводные системы с быстро протекающей жидкостью.

Литература

1. Болотин В. В. Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости. М.: Физматгиз, 1961.
2. Радин В. П., Самогин Ю. Н., Чирков В. П., Щугорев А. В. Решение неконсервативных задач теории упругой устойчивости. М.: Физматлит, 2017.

*Д. И. Гаврилов, студ.;
рук. А. Ю. Марченков, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДОСТИ И ПРОЧНОСТИ КОРРОЗИОННО-СТОЙКОГО СПЛАВА HASTELLOY G-35 ИНДЕНТИРОВАНИЕМ

Методы индентирования находят все большее распространение в диагностике механических свойств материалов непосредственно в деталях и конструкциях. Применение индентирования на этапах изготовления и эксплуатации конструкций позволяет существенно снизить трудоемкость и повысить производительность операции контроля механических свойств, что, в свою очередь, позволяет уменьшить затраты на изготовление деталей и эксплуатационные расходы. Эффективность использования метода индентирования подтверждается государственными стандартами ГОСТ 22761-77 «Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю переносными твердомерами статического действия» и ГОСТ 22762-77 «Металлы и сплавы. Метод измерения твердости на пределе текучести вдавливанием шара», которые позволяют определять такие важные механические характеристики материалов как твердость по Бринеллю, предел текучести и временное сопротивление без разрушения конструкции и вырезки образцов для испытания растяжением [1]. Для сплавов на основе никеля в настоящий момент не существует нормативных документов, регламентирующих определение указанных выше характеристик прочности методом индентирования.

Работа посвящена разработке методики определения характеристик твердости и прочности хастеллоя (коррозионно-стойкого сплава на основе никеля) марки G-35 методом вдавливания индентора. Указанный материал применяется в промышленности для изготовления деталей и конструкций, контактирующих с агрессивными кислотами и солями при повышенных температурах. Хастеллой G-35 обладает большим запасом пластичности, что требует проведения исследований для установления условий корректного определения его характеристик твердости и прочности. Личный вклад автора заключается в выполнении экспериментальных исследований, обработке полученных данных и проведении практического опробования разработанного метода. Такой метод может быть использован для металла действующего оборудования и трубопроводов, изготовленных из хастеллоя G-35, в особенности на тех участках металла, где затруднено или невозможно использование метода испытаний растяжением (галтели, сварные швы, гибы трубопроводов, локальные зоны концентрации напряжений, выявленные методами дефектоскопии и др.).

Литература

1. **Матюнин В. М.** Индентирование в диагностике механических свойств материалов. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 288 с.

Д. Н. Ипатов, асп.; рук. А. И. Муницын, д.т.н., проф. (НИУ«МЭИ»)

ОЦЕНКА ОКРУЖНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВРЕЖДЕННОЙ ОБШИВКЕ УЗКОФЮЗЕЛЯЖНОГО САМОЛЕТА

В ходе эксплуатации гражданских воздушных судов, силовые элементы конструкции накапливают повреждения. Обшивка самолета больше остальных элементов подвержена воздействию различных случайных ударов, таких как, столкновение с птицей или попадание в зону осадков в виде града. Следствием этих событий является появление постоянных пластических деформаций на поверхности летательного аппарата.

Наиболее вероятным и опасным сценарием разрушения воздушного судна является развитие усталостных трещин вдоль контуров швов соединения внахлест при нагружении переменными внешними силами, например, избыточным давлением кабины. Для более точного определения времени зарождения первой трещины в обшивке, требуется знать коэффициент качества поверхности материала, метода установки и типа крепежа, а также уровня концентрации напряжений. Все эти факторы определяются экспериментальным путем и в большинстве случаев остаются неизменными от опыта к опыту. Наиболее важными факторами, которые способны существенно меняться, являются величина напряжений и зависимый от этих значений коэффициент асимметрии цикла.

Особенностью проведенной работы является оценка уровня напряжений на границе пересечения нескольких концентраторов. В качестве перспектив использования результатов исследования, были получены данные по уровню деформации конструкции, величине остаточных напряжений для нескольких случаев нагружения, распределению окружных напряжений в обшивки, а также данные по влиянию вмятины на концентрацию напряжений [1, 2].

Наличие пластических деформаций в конструкции оказывает воздействие на перераспределение напряжений. Небольшое повышение напряжений в регулярной зоне, серьезно сказывается на усталостной прочности соединения. Характерная конструкция летательного аппарата была смоделирована и оценена, с точки зрения максимальных усталостных напряжений, в программном комплексе «Абакус».

Литература

1. **Niu M. C.-Y.** Airframe stress analysis and sizing. Conmilit Press Ltd, 2001.
2. **Bruhn E. F.** Analysis and design of flight vehicle structures. Tri-State Offset Company, 1973.

*П. А. Кудинов, В. Н. Зеликов, студенты (НИУ «МЭИ»);
рук. И. Ю. Морин, к.т.н., зав. сектором; Е. Н. Овсянников, зам. нач.
лаборатории (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

АНАЛИЗ НАГРУЖЕННОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАЗГРУЗОЧНЫХ ОПОР ТРУБОПРОВОДА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Для обеспечения надежной и безопасной работы компрессорных станций необходимо обеспечивать стабильное положение трубопроводов под действием рабочих нагрузок. В настоящее время успешно используются различные конструктивные варианты опорных закреплений. В то же время актуальным является вопрос выбора оптимальной конструкции в зависимости от действующих нагрузок и от условий эксплуатации. В данной работе выполнена расчетная оценка одного из видов усиливающей опоры.

Данный элемент относится к подвижному типу сооружений. Особенностью рассмотренной системы является то, что она воспринимает вертикальные усилия от веса трубопровода с продуктом и изоляции, а также горизонтальные усилия в одном из направлений, при этом имея возможность свободно перемещаться в другом направлении.

В ходе исследования была разработана параметризованная конечно-элементная модель разгрузочной опоры трубопровода.

Математическая модель конструкции была разработана в программном комплексе ANSYS на языке APDL [1], [2]. Данный подход достаточно удобен, так как позволяет варьировать следующие параметры:

- длина, внешний диаметр, толщина трубопровода;
- длина, внешний диаметр, толщина разгрузочной опоры;
- физико-механические характеристики материала;
- прикладываемая нагрузка.

На основе разработанной модели выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния опоры под действием различных типов нагружения: внутреннего давления, перепада температур и продольного усилия в трубопроводе, являющегося следствием выбранного способа закрепления, а также различных комбинаций данных нагрузок. Результаты исследования позволили разработать рекомендации по условиям эксплуатации и определить области применения таких конструкций.

Литература

1. **Басов К. А.** ANSYS для конструкторов. М.: ДМК Пресс, 2009.
2. **Чигарев А. В.** ANSYS для инженеров: Справ. пособие. М.: Машиностроение-1, 2004.

*М. В. Погорелов, аспирант;
рук. В. П. Чирков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОСАДОЧНОЙ ТВЕРДОТОПЛИВНОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА ПАРАШЮТНУЮ СИСТЕМУ

В рамках работ по созданию парашютной системы (ПС) для пилотируемого транспортного корабля нового поколения (ПТК НП), предназначенного для возвращения экипажа на Землю после выполнения космических миссий, проводится необходимый комплекс экспериментов по отработке штатных и нештатных режимов работы систем приземления. Проведение этого необходимого этапа сопряжено с привлечением значительной материальной части (авиации, полигона, регистрирующего аппаратного оснащения) и человеческих ресурсов в лице специалистов узкого профиля. Это требует от инженеров поиска оптимума между экономической обоснованностью проводимых экспериментов в необходимых объемах в условиях ограниченного финансирования и достоверностью получаемых результатов.

Система посадки ПТК НП относится к классу парашютно-реактивных: непосредственно перед приземлением возвращаемого аппарата на трехкупольной парашютной системе включаются реактивные двигатели мягкой посадки, что позволяет достичь почти нулевой скорости касания и обеспечивает максимальную безопасность экипажа. В заданный момент времени после запуска двигателей производится отстрел ПС. Определение этого момента подлежит расчету и экспериментальной проверке.

В связи с необходимостью выбора наилучших условий проведения предпосадочных операций разработана математическая модель снижения возвращаемого аппарата на участке совместной ПС и посадочной твердотопливной двигательной установки с учетом деформируемости купола. Модель реализует идею имитации воздействия реактивного двигателя на ПС путем последовательного приземления двух грузов, один из которых балластный, а другой является моделью ПТК.

Так как эксперименты планируется проводить на куполах меньших (110 м^2), чем реально используемые (1200 м^2), парашютах, что связано с технологической сложностью и дороговизной предполетной подготовки, решена задача об определении размеров модели и материалов для изготовления с привлечением теории подобия [1]. Апробация полученной модели и результатов расчетов производится на основе сравнения с ранее проведенными экспериментальными исследованиями.

Литература

1. **Веников В. А.** Теория подобия и моделирования. М.: Высшая школа, 1976.

М. Н. Пронкина, студ.;
рук. А. Н. Воронцов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ И ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МАГНИТНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Стальные канаты подъемных механизмов требуют периодической замены, если несущая способность каната снижается до недопустимого уровня или если исчерпан назначенный ресурс. Ресурс каната зависит от типа подъемной машины, конструкции каната, материала проволок и рабочего режима. Для эксплуатируемых объектов вводится понятие индивидуального остаточного ресурса, а именно — срока службы от данного момента времени до достижения предельного состояния [1]. Источниками информации для прогноза индивидуального ресурса служат данные текущего (оперативного) поиска дефектов, которые накапливаются в результате наблюдений и измерений в процессе эксплуатации. Для стальных канатов подобная информация может быть получена средствами неразрушающего контроля, в частности методом магнитной дефектоскопии [2]. В докладе излагается подход к оценке текущего запаса прочности и ресурса подъемного каната на основании данных дефектоскопии с целью экстраполировать его поведение в будущем и установить возможный момент прекращения работы.

Два диагностических показателя — потеря сечения по металлу вследствие коррозии и обрывы проволок используются в качестве входных данных структурной механической модели каната. Расчет прочности производится по напряженному состоянию структурных элементов каната с измеренными дефектами. Индивидуальный ресурс определяется историей изменения запаса прочности по отношению к предельно допустимому запасу живучести частично изношенной конструкции. Сформулирован критерий надежного функционирования диагностируемого каната, нарушение которого означает отказ конструкции. Приведен пример расчета индивидуального ресурса талевого каната буровой установки. На основании полученных результатов сформулированы рекомендации службе эксплуатации относительно работоспособности каната и ремонтно-восстановительных мероприятиях.

Литература

1. **Болотин В. В.** Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1984.
2. **Котельников В. С., Сухоруков В. В.** Дефектоскопия канатов грузоподъемных машин // Безопасность труда в промышленности. 1998. № 5.

О. Н. Сладкова, студ.; рук. В. Г. Грибин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ДВИЖЕНИЕ И ФОРМИРОВАНИЕ КРУПНОДИСПЕРСНОЙ ВЛАГИ В СОПЛОВОЙ ТУРБИННОЙ РЕШЕТКЕ

При создании последних ступеней паровых турбин работающих в условиях влажнопарового потока практически не учитывается движение крупнодисперсной влаги в межлопаточном канале. Наличие таких капель приводит к эрозионному износу рабочей лопатки, а также снижению экономичности всей турбины.

До недавнего времени, образование потоков капель в межлопаточном канале имело качественный характер определения, основанный на косвенных измерениях за фронтом решетки и численном моделировании [1].

Для исследования характеристик жидкой фазы в межлопаточном канале использовалась система лазерной диагностики потоков POLIS [2], которая включает в себя метод PTV (Particle Tracking Velocimetry). Достоинством данного метода является возможность определения векторных полей скорости на основе определения образов отдельных капель.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований плоской сопловой турбинной решетки. Эксперимент проводился на стенде контура влажного пара, тепловая схема которого включена в тепловую схему ТЭЦ МЭИ.

В работе рассмотрено влияние отношения плотностей фаз на характер формирования крупнодисперсной влаги в межлопаточном канале.

На основе полученных результатов определены характерные потоки капель и источники их возникновения. Наибольший интерес представляют потоки капель, сформированные в результате взаимодействия влаги, образованной перед исследуемым объектом, со стенками межлопаточного канала. В результате в работе были определены области их формирования и основные характеристики.

Полученные экспериментальные данные позволяют дать рекомендации: для проектирования профилей турбинных решеток, работающих в условиях влажнопарового потока; по модернизации и разработке активных методов по борьбе с эрозией рабочих лопаток.

Литература

1. Дейч М. Е. Газодинамика решеток турбомашин. М.: Энергоатомиздат, 1996. 528 с.
2. Грибин В. Г. и др. Влияние режимных параметров паротурбинной установки на характер распределения потоков частиц жидкой фазы за изолированной сопловой решеткой во влажно-паровом потоке // Промышленная энергетика. 2015. № 11.

*Н. А. Стасенко, студ.;
рук. В. М. Матюнин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВНОГО ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ МЕТАЛЛА ПО КИНЕТИЧЕСКОЙ ДИАГРАММЕ ВДАВЛИВАНИЯ СФЕРИЧЕСКОГО ИНДЕНТОРА

Предел текучести является одним из основных механических свойств материалов. Он является приемосдаточной характеристикой металла и используется для расчетов на прочность деталей и конструкций. Для определения предела текучести необходимо изготовление и испытание образца на разрывной машине, что трудоемко и материалоемко. Поэтому появились другие способы определения предела текучести металла, например индентированием. Наиболее известен способ определения условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ вдавливания шара, предложенный М. П. Марковцом. Согласно этому способу необходимо определить нагрузку вдавливания $F_{0,2}$, при которой в отпечатке создается контактная деформация $\psi^{ВД} = 0,2\%$. Однако данный способ предполагает неоднократное вдавливание индентора для получения отпечатка заданного размера.

В настоящей работе была исследована возможность определения условного предела текучести металла по кинетической диаграмме вдавливания сферического индентора в координатах «нагрузка — перемещение индентора». Методика регистрации этих диаграмм подробно изложена в работе. Было предложено оценивать предел текучести по твердости на пределе текучести, определенной на начальном участке диаграммы вдавливания в точке, где упругая деформация равна пластической. Обоснованием такой методики явилась связь диаграмм вдавливания с диаграммами растяжения для сталей с разным уровнем предела текучести. Было установлено, что при растяжении образца на начальном участке диаграммы в точке, где упругая деформация равна пластической, напряжение соответствует и условному $\sigma_{0,2}$ и физическому σ_T пределам текучести.

Предложенная методика автоматизирована и позволяет ускоренно определять условный предел текучести металла вдавливанием индентора. Максимальное различие значений предела текучести, определенных вдавливанием и растяжением не превышает 7%. Методика может быть использована для оперативной оценки предела текучести металла непосредственно в изделиях машиностроения с помощью переносного прибора.

Литература

1. **Матюнин В. М.** Кинетическое индентирование в диагностике механических свойств материалов. М.: Издательский дом МЭИ, 2015.

*В. Н. Зеликов, П. А. Кудинов, студенты (НИУ «МЭИ»);
рук. И. Ю. Морин, к.т.н., зав. сектором; Е. Н. Овсянников, зам. нач.
лаборатории (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БЛИЗКОРАСПОЛОЖЕННЫХ ДЕФЕКТОВ В КОЛЬЦЕВОМ СВАРНОМ СОЕДИНЕНИИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СТАЛЬНЫХ ТРУБ

В действующей нормативной документации учет взаимодействия близкорасположенных дефектов (несплошностей) сварных соединений трубопровода заключается в объединении этих дефектов по определенным правилам [1]. Описанный выше подход является достаточно «жестким» и в значительной степени консервативным, что говорит об актуальности и необходимости данного исследования.

В ходе представленной работы были созданы параметризованные конечно-элементные модели кольцевых сварных соединений с нарушением геометрии в виде смещения кромок и с внутренними технологическими дефектами в виде несплошностей.

Расчетные модели были разработаны на языке APDL в программном комплексе ANSYS [2, 3]. Они позволяют варьировать следующие параметры:

- длина, внешний диаметр, толщина трубы;
- геометрические характеристики дефектов;
- максимальное значение смещения кромок;
- характеристики материала трубы;
- прикладываемая нагрузка.

Полученные модели использованы для исследования влияния технологических дефектов в форме эллипсоидов вращения и смещения кромок в кольцевом сварном соединении на напряженно-деформированное состояние стальных труб.

Для данных моделей проведены расчеты напряженно-деформированного состояния от двух типов нагружения: внутреннего давления и растягивающего усилия. Разработаны рекомендации по определению эффективных размеров при схематизации близкорасположенных дефектов. Результаты исследования позволяют обоснованно снизить степень консервативности при расчетах допустимой дефектности кольцевых сварных соединений.

Литература

1. **СТО Газпром 2-2.4-715-2013** «Методика оценки работоспособности кольцевых сварных соединений магистральных газопроводов», 2014.
2. **Басов К. А.** ANSYS для конструкторов. М.: ДМК Пресс, 2009.
3. **Басов К. А.** ANSYS: справочник пользователя. М.: ДМК Пресс, 2005.

*Е. А. Зуев, асп.; рук. В. П. Чирков, д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ», Москва)*

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ И РАСКРЫТИЯ СТЫКА ПИЛОТИРУЕМОГО ТРАНСПОРТНОГО КОРАБЛЯ

Известно, что при разработке космической техники одним из важнейших требований при создании пилотируемых транспортных космических кораблей, является сохранение их герметичности.

В работе рассматривается герметичный стык модулей космического аппарата, предназначенного для многоразовых полетов. Для анализа различных конструктивных схем реализации стыка, был выбран конечно-элементный комплекс ANSYS, где с учетом неравномерности распределения приложенных нагрузок и температур было определено напряженно-деформированное состояние. В результате выполненного расчета на прочность определен наилучший вариант реализации стыка, с использованием разработанных герметичных болтов, представленный на рис. 1.

Для подтверждения герметичности соединения в условиях циклического нагружения с использованием болтов в герметичном исполнении была разработана установка. Перед испытаниями на экспериментальной базе, в программном комплексе ANSYS nCode DesignLife проведен расчет на многоцикловую усталость для определения количества циклов до разрушения. Прогнозируемый ресурс, полученный в результате расчетов по методике, предложенной в [1], был подтвержден экспериментальной проверкой.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и расчете других герметичных стыков, как в космической технике, так и в других областях машиностроения, где применяются сборно-разборные стыковочные конструкции [2].

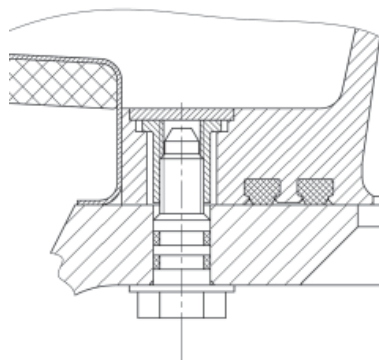


Рис. 1. Применение болтового соединения с двухбарьерным уплотнением для стягивания стыковочного модуля и командного отсека корабля

Литература

1. **Болотин В. В.** Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1990.
2. **Биргер И. А., Иосилевич Г. Б.** Резьбовые и фланцевые соединения. М.: Машиностроение», 1990.

Секция 50 РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ И МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

Председатель секции — зав. каф. РМДиПМ, д.т.н. И.В. Меркурьев
Секретарь секции — к.ф.-м.н., доцент Г.В. Панкратьева

Н.Д. Бабанов, асп.; рук. А.И. Кобрин, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНТРА ДАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА С ЗАФИКСИРОВАННЫМ ГОЛЕНОСТОПНЫМ СУСТАВОМ

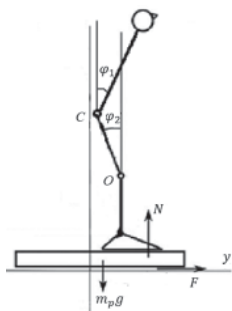


Рис. 1. Расчетная схема модели

В данной работе предложен вариант расчета на основе одновременного использования однозвенной и двухзвенной модели в зависимости от величины угла отклонения бедра человека. Выполнено численное моделирование предложенного алгоритма. Адекватность выбранной модели оценивается сравнением полученных значений координат центра давления (ЦД), точки приложения результирующей сил нормальной реакции со стороны плоскости опоры, с данными стабилотрамм [3]. Показано, что расчетная область значений координат ЦД, соответствует экспериментальным данным. Определено положение центра давления, при котором должна происходить смена двухзвенной модели на однозвенную.

В данной работе предложен вариант расчета на основе одновременного использования однозвенной и двухзвенной модели в зависимости от величины угла отклонения бедра человека. Выполнено численное моделирование предложенного алгоритма. Адекватность выбранной модели оценивается сравнением полученных значений координат центра давления (ЦД), точки приложения результирующей сил нормальной реакции со стороны плоскости опоры, с данными стабилотрамм [3]. Показано, что расчетная область значений координат ЦД, соответствует экспериментальным данным. Определено положение центра давления, при котором должна происходить смена двухзвенной модели на однозвенную.

Литература

1. Капанджи А. И. Нижняя конечность: Функциональная анатомия. М: Издательство «Э», 2017. 352 с.
2. Кручинин П. А. Механические модели в стабилотрии // Российский журнал биомеханики. 2014. Т. 18. № 2: С. 184–193.
3. Кубряк О. В. Стабилотрия, вертикальная поза человека в современных исследованиях. 2016. 78 с., ISBN 978-5-4483-1567-1

Е. А. Антонов, асп.; рук. В. В. Подалков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ЖЕСТКОСТИ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ДИНАМИКУ ДВУХМАССОВОГО МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА $L-L$ ТИПА В РЕЖИМЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ

Микромеханические гироскопы — один из наиболее быстро растущих сегментов современного рынка. Сейчас эти устройства используются как в бытовых приборах и игровых устройствах, так и в аэрокосмической технике. Разработка микроэлектромеханических систем (МЭМС) относится к перспективным направлениям развития наукоемких технологий [1, 2].

Целью данного исследования является анализ динамики двухмассовой модели ММГ $L-L$ типа в режиме вынужденных колебаний с учетом нелинейной жесткости упругих элементов подвеса.

На рис. 1 представлена рассматриваемая модель ММГ, где 1 — инерциальная масса; 2 — рамка; 3 — внутренние торсионы; 4 — внешние торсионы; 5 — подложка основания; 6 — гребенчатая структура, образующая систему плоских конденсаторов.

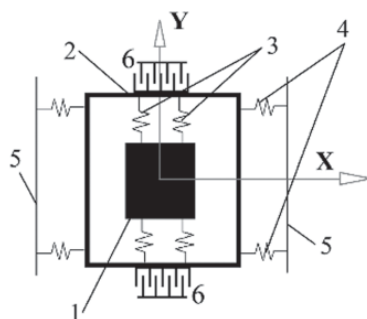


Рис. 1. Кинематическая модель ММГ $L-L$ типа

В работе построена математическая модель динамики двухмассового ММГ $L-L$ типа в режиме вынужденных колебаний, учитывающая вязкое трение в системе и нелинейную жесткость упругих элементов. Получены уравнения движения и проведен анализ влияния нелинейных факторов. Исследование нелинейной системы выполнено в соответствии с методикой, изложенной в работах [3, 4].

Новизна работы — получены оценки динамического эффекта от нелинейной жесткости в режиме вынужденных колебаний при произвольной угловой скорости основания.

Литература

1. Яшин К. Д., Осипович В. С., Божко Т. Г. Разработка МЭМС // Нано- и микросистемная техника. 2008. № 1 (90). С. 28–34.
2. Shkel A. Microtechnology comes of age, GPS World, vol. 22, pp. 43–50, Sep. 2011.
3. Лестев М. А. Нелинейный параметрический резонанс в динамике микромеханического гироскопа // Известия вузов. Приборостроение. 2004. Т. 47, № 2. С. 36–42.
4. Боголюбов Н. Н., Митропольский Ю. А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М.: Наука, 1974. 503 с.

А. И. Богачев, студ.; рук. В. Ф. Устинов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПЬЕЗОПРИВОДОМ

Перспективы применения микромеханических двигателей чрезвычайно широки. Они могут быть использованы в различных приборах в космической отрасли, цифровой оптике, фотонике, микроскопии и медицине. Такой широкий спектр обусловлен, в частности, возможностью изготовления их в миниатюрных размерах и устойчивостью к воздействию экстремальных механических и температурных нагрузок.

В данной работе выполнено исследование модели микромеханического двигателя вращения. Движение подвижного элемента реализуется нетрадиционным принципом создания движущих сил [1, 2] — управлением формой изгиба упругого трехопорного неразрезного стержня, перемещающегося по жесткой направляющей переменной кривизны. Направляющие представляют собой комбинацию двух кривых линий: постоянной кривизны — окружность (скелетная) и периодической кривизны. Движущими силами являются консервативные силы упругого стержня, управляющие его формой воздействия, создаваемые с помощью пьезоэлектрических элементов. Рассмотрен штатный (квазиустановившийся) режим двигателя и режим останова. Проведен анализ влияния величины сосредоточенных масс ползунов на динамику системы.

Квазистатическая характеристика пьезопривода определена при решении модельной задачи о цилиндрическом изгибе триморфной (пьезокерамика — металл — пьезокерамика) прямоугольной пластины.

Построена динамическая модель системы. Дифференциальное уравнение движения составлено с помощью формализма Лагранжа. В результате численного эксперимента найдены определяющие параметры модели микромеханического двигателя: время выхода двигателя на штатный режим, средняя скорость в штатном режиме, уровень неравномерности движения. Рассмотрены варианты торможения двигателя.

По результатам моделирования можно заключить, что при увеличении массы ползунов время выхода на штатный режим увеличивается, уровень неравномерности движения уменьшается, а при добавлении зоны повышенного сухого трения время остановки двигателя можно сократить более чем в два раза.

Литература

1. **Лаврентьев М. А.** Об одном принципе создания тяговой силы для движения // ПМТФ. 1962. № 4. С. 3–9.
2. **Журавлев В. Ф.** Об одной модели механизма движения змеи // ПММ. 2002. Т. 66. Вып. 4. С. 534–538.

С. П. Черепанов, студ.;
рук. М. Н. Кирсанов, д. ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО МЕХАНИЗМА

Задача состоит в выводе уравнений движения модели многокомпонентного механизма, состоящего из числа N отдельных двухколесных модулей, соединенных между собой с помощью упругих элементов; исследовании зависимости траектории движения многокомпонентного механизма от подаваемых моментов на приводы; выводе уравнений моментов на приводах для реализации программного движения многокомпонентного механизма.

Математическая модель многокомпонентного механизма может стать основой для создания таких изделий, как «робопоезд» или «робозмея». Данный вид мобильных роботов имеет широкие сферы применения. Например, при проведении поисково-спасательных операций такой робот смог бы эффективно помогать спасателям в нахождении выживших после катастрофы. Также данных роботов можно использовать для исследования и устранения неполадок в местах, недоступных для человека (например, поврежденных АЭС).

Двухколесный модуль многокомпонентного механизма представляет собой квадратную платформу с двумя двигателями по бокам, приводящими в движение колеса. Для соединения отдельных модулей между собой применяется линейный упругий элемент — пружина.

Вывод уравнений движения осуществляется с использованием алгоритма Маджи [1, 2] и реализуется в системе компьютерной математики Maple [3]. Составлены две программы, результатом работы которых является вывод уравнений движения многокомпонентного механизма, а также решение прямой и обратной задачи динамики.

Литература

1. **Мартыненко Ю. Г.** Динамика мобильных роботов // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 5. С. 1–7.
2. **Зацепин М. Ф., Мартыненко Ю. Г., Тиньков Д. В.** Уравнения Лагранжа, Воронца, Чаплыгина в задачах динамики мобильных роботов. М.: Издательство МЭИ, 2005. 32 с.
3. **Кирсанов М. Н.** Решебник. Теоретическая механика / Под ред. А. И. Кириллова. М.: Физматлит, 2008. 382 с.

И. А. Ильин, студ.;
рук. М. Н. Кирсанов, д. ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЫВОД ФОРМУЛЫ ДЛЯ ПРОГИБА ШПРЕНГЕЛЬНОЙ ФЕРМЫ В СИСТЕМЕ MAPLE

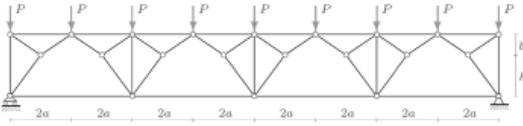


Рис. 1. Ферма, $n=2$

Усиление ферм шпренгельными элементами широко используется в строительстве, машиностроении и робототехнике. Анализ фермы проведен в аналитической форме с использованием

системы Maple и индуктивного метода [1]. Прогиб определялся по формуле Максвелла-Мора

$$\Delta = P \sum_{i=1}^m s_i S_i l_i / (EF),$$

S_i — усилия в стержнях от действия равномерной нагрузки, s_i — усилия от единичной силы, приложенной к среднему узлу, l_i — длины стержней, $m=20n+4$ — число стержней. Решение имеет вид полинома по n ($f = \sqrt{a^2 + b^2}$, $c = \sqrt{a^2 + h^2}$):

$$EF\Delta_n = P \left[(b^2 - h^2)(C_1 b + C_2 h) + C_3 (f^3 + h^2 (a^3 + f^3) / b^2) + C_4 c^3 + C_5 a^3 + C_6 a^3 h / b \right] / \left(2(h + b)^2 \right),$$

$$C_1 = 8n + 1, C_2 = -3 - 8n, C_3 = 16n^2, C_4 = 32n^2, C_5 = 40n^2(16n^2 - 1) / 3, C_6 = 24n^2.$$

Ранее аналогичным методом получены решения для плоских [3–5] и пространственных ферм [6].

Литература

1. Тиньков Д. В. Формулы для расчета прогиба впарушенной балочной раскосной фермы с произвольным числом панелей // Строительная механика и конструкции. 2016. Т. 2. № 13 (13). С. 10–14.
2. Кирсанов М. Н. Решебник. Теоретическая механика / Под ред. А. И. Кириллова. М.: Физматлит, 2008. 382 с.
3. Кирсанов М. Н., Маслов А. Н. Формулы для расчета прогиба балочной многорешетчатой фермы // Строительная механика и расчет сооружений. 2017. 2 (271). С. 4–10.
4. Кирсанов М. Н. Анализ прогиба арочной фермы // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. № 5. С. 5–10.
5. Кирсанов М. Н. Аналитический метод расчета прогиба плоской фермы со сложной решеткой шпренгельного типа // Транспортное строительство. 2017. № 5. С. 11–13.
6. Кирсанов М. Н. Изгиб, кручение и асимптотический анализ пространственной стержневой консоли // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 5 (49). С. 37–43.

*А. А. Логвинец, студ.;
рук. Г. В. Панкратьева, к. ф.-м. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РОБОТА KUKA YOUBOT

Мобильная система KUKA youBot состоит из платформы, оснащенной роликowymi колесами, и манипулятора [1]. Специальная конструкция роликowych колес позволяет роботу вращаться на месте и двигаться в любом направлении. Такие роботы обладают более высокой маневренностью по сравнению с обычными колесными роботами, что дает возможность использовать их в ограниченном пространстве.

Проскальзывание колес в направлении оси опорного ролика отсутствует. Система платформа–манипулятор имеет 8 степеней свободы. В общей постановке получается неголономная задача большой размерности. В работе [2] рассмотрено движение платформы в предположении, что манипулятор неподвижен. Вместе с тем, очевидно, что движение манипулятора влияет на динамику системы в целом. В данной работе выполнен анализ влияния изменения положения центра масс системы, обусловленного изменением конфигурации манипулятора, на движение платформы. Уравнения динамики для угла поворота и координат геометрического центра платформы, составленные в форме уравнений Лагранжа с неопределенными множителями [3], позволяют определить при заданном программном движении требуемую для его реализации величину моментов двигателей колес.

Сравнение траекторий движения платформы, полученных для случаев подвижного и неподвижного центра масс, при одних и тех же значениях управляющих моментов, показывает, что отличие траекторий существенно зависит от типа программного движения и может быть значительным. Полученный результат свидетельствует о необходимости построения законов управления роботом с учетом информации о его текущем положении.

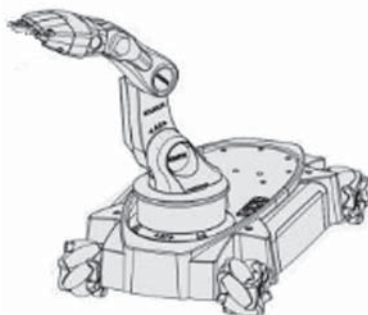


Рис. 1. Общий вид робота KUKA youBot

Литература

1. <http://www.youbot-store.com/>
2. **Адамов Б. И.** Алгоритмы идентификации параметров и управления для мобильного робота KUKA YOUBOT // LI Всероссийская конференция по проблемам динамики, физики частиц, физики плазмы и оптоэлектроники. Тезисы докладов. М: Издательство РУДН. 2016. С. 149–154.
3. **Зацепин М. Ф., Мартыненко Ю. Г., Тиньков Д. В.** Уравнения Лагранжа, Воронца, Чаплыгина в задачах динамики мобильных роботов. М.: Издательство МЭИ, 2005. 32 с.

Д. А. Маслов, асп.;
рук. И. В. Меркурьев, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

УТОЧНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОЛЕБАНИЙ РЕЗОНАТОРА ВОЛНОВОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ГИРОСКОПА

Повышение точности волновых твердотельных гироскопов (ВТГ) является актуальной задачей, поскольку ВТГ обладают рядом преимуществ: устойчивостью к неблагоприятным факторам окружающей среды, небольшими габаритами, весом, потребляемой мощностью [1], [2]. Уточнение нелинейных математических моделей позволит проводить более точную идентификацию параметров и компенсацию погрешностей с целью уменьшения дрейфа гироскопа. Уравнения, описывающие колебания резонатора ВТГ, могут быть представлены в виде [2]:

$$\ddot{\mathbf{x}} + \omega^2 \mathbf{x} = \mathbf{q}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}) + \mathbf{F}(\mathbf{x}) + \mathbf{u}, \quad (1)$$

где $\mathbf{x} = (x_1, x_2)^T$ — вектор, определяющий колебания резонатора по второй основной форме; x_1 и x_2 — обобщенные координаты второй формы колебаний резонатора; ω — характерная частота собственных колебаний резонатора; \mathbf{q} — вектор малых позиционных и скоростных сил, учитывающих анизотропию упругости и диссипации; $\mathbf{F}(\mathbf{x})$ — слагаемое, учитывающее нелинейные эффекты; \mathbf{u} — управляющее воздействие.

Известны математические модели и методики идентификации параметров ВТГ, учитывающие кубическую нелинейность с помощью одного коэффициента [3] и пяти коэффициентов [4].

Предложены математические модели, учитывающие нелинейность пятой степени, и построенные на их основе методики идентификации параметров ВТГ. Показано повышение точности определения параметров.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 16-01-00772-а, № 16-08-01269-а).

Литература

1. Пешехонов В. Г. Современное состояние и перспективы развития гироскопических систем // Гироскопия и навигация, 2011, № 1, с. 3–17.
2. Меркурьев И. В., Подалков В. В. Динамика микромеханического и волнового твердотельного гироскопов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009, 228 с.
3. Маслов А. А., Маслов Д. А., Меркурьев И. В. Идентификация параметров волнового твердотельного гироскопа с учетом нелинейности колебаний резонатора // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, 2014, № 5, с. 24–29.
4. Адамов Б. И. Применение аппарата неголономных связей в задачах идентификации параметров и управления движением: дис. канд. ф.-м. н., М., 2016. — 206 с.

А. А. Персяев, асп.;
рук. А. И. Кобрин, д. ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ ТИПА SKID-STEER

Платформы типа skid-steer ввиду особенностей своей конструкции относятся к транспорту повышенной проходимости. Управление такими платформами является достаточно сложной задачей, потому что их колеса/гусеницы не поворачиваются и движутся со скольжением. При различных условиях платформы могут потерять устойчивость в результате неуправляемого заноса. Из-за бокового движения скоростные ограничения для skid-steer платформ отличаются от ограничений для платформ другого типа. Это подразумевает, что для успешного управления мобильным роботом типа skid-steer необходимо создать динамическую модель аппарата. Разрабатываемая система управления роботом основана на знании взаимодействия системы «колеса-подстилающая поверхность» при учете скольжения и флуктуаций уровня грунта и использовании методов машинного обучения. Представленное исследование заключается в построении модели простейшей платформы типа skid-steer и применении различных методов машинного обучения с подкреплением, на базе использования искусственных нейронных сетей [1, 2]. Для этих целей в среде моделирования V-REP была разработана трехмерная модель skid-steer платформы, изображение которой представлено на рис. 1. Прорабатывается методика получения массива данных о состоянии платформы в каждый момент времени. Данный массив используется в качестве обучающей выборки для искусственных нейронных сетей, формирующих сигналы управления платформой.

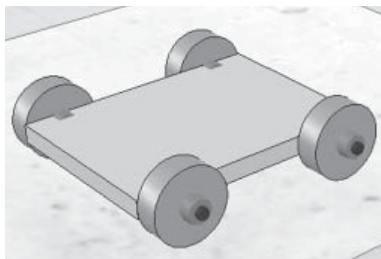


Рис. 1. 4-колесная skid-steer платформа в среде моделирования V-REP

Литература

1. **Yun S. C. et al.** Neural Q-Learning Based Mobile Robot Navigation // *Advanced Materials Research*. 2012. Vols. 433–440. pp. 721–726.
2. **Nihal Altuntas et al.** Reinforcement learning-based mobile robot navigation // *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*. 2016. Vols. 24. pp. 1747–1767.

С. М. А. Ромеро, студ.;
рук. И. В. Меркурьев, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА

Разработка систем управления движением роботов и повышение их точности является, в связи с широким применением роботов в различных областях, актуальной задачей. В докладе предлагается решение задачи стабилизации принципиально неустойчивого вертикального положения антропоморфного робота [1].

Рассматривается модель робота, представляющая собой плоский однозвенный перевернутый маятник, соединенный при помощи цилиндрического шарнира (голеностопного сустава), с опорой в виде сегмента цилиндра (стопа), ось которого перпендикулярна плоскости колебаний маятника. Опора может совершать колебания, перекачиваясь без проскальзывания по горизонтальной плоскости, а маятник — колебаться в вертикальной плоскости. Управление движением осуществляется двигателем, размещенным в оси шарнира. Считается, что величина момента двигателя ограничена.

Построение оптимального по быстродействию управления выполняется методом динамического программирования Беллмана, обсуждается стратегия управления в виде релейной обратной связи.

Положение робота определяется по показаниям микроэлектромеханических датчиков инерциальной информации, измеряющих проекции вектора кажущегося ускорения и угловую скорость верхнего звена робота. Рассматриваются математические модели микромеханического гироскопа и акселерометра на подвижном основании [2], позволяющие оценить ошибки приборов. Проблема компенсации случайных и систематических погрешностей измерений датчиков решается путем использования в цепи обратной связи фильтра Калмана.

Для анализа точности построенной системы управления проводится сравнение результатов математического моделирования механической системы с экспериментальными данными, полученными на стабилографе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-08-01269-а).

Литература

1. Кулаков Б. Б., Кулаков Д. Б., Беляев В. В. Антропоморфные роботы как новая сфера применения гидроприводов // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. вып. 4. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/hydro/682.html>.
2. Басараб М. А., Кравченко В. Ф., Матвеев В. А. Методы моделирования и цифровая обработка сигналов в гироскопии. М.: Физматлит, 2008. 248 с.

А. М. Русаков, асп.;
рук. А. И. Кобрин, проф., д. ф.-м. н. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ КООРДИНАЦИИ ГРУППЫ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Управление группой роботов целесообразно разделить на более простые задачи, которые можно решить с помощью использования различных методов планирования. Выделяются три вида планирования: планирование задач, планирование движения каждого робота в группе, планирование поведения группы как единого целого.

Планирование задач — это построение последовательности действий робота, которой он должен следовать, чтобы выполнить сложную задачу. Для описания проблемы и домена планирования, а, следовательно, и нахождения плана используется система Robotics Planning System [1].

Планирование движения — это задача определения управляющих сигналов, которые позволяют обеспечить перемещение робота из начального состояния до целевого состояния. Например, движение от одного места до другого, захват объекта и т.д. Другими словами, планирование производится в пространстве непрерывных состояний.

Несмотря на тот факт, что целевое состояние легко указать, построение плана нетривиально в связи с наличием динамических и кинематических ограничений, внешних возмущений и шумов, возникающих при выполнении задачи и в процессе измерений. Поэтому используются различные методы моделирования управления группой мобильных роботов с использованием символического планирования [2].

В данной работе решается проблема оптимизации формирования управления группой роботов в целом. В зависимости от специфики задачи выбирается способ управления: централизованный или децентрализованный. При решении транспортной задачи совместное движение роботов реализуется с помощью постановки локальных заданий каждому отдельному роботу, а взаимодействие между ними происходит по необходимости и с минимальным объемом информации.

Литература

1. **Русаков А. М., Кобрин А. И.** Планирование как элемент работы группы мобильных роботов // Информатизация инженерного образования: Тр. Междунар. науч.-практ. конф. М.: Издательский дом МЭИ, 2016.
2. **Русаков А. М., Кобрин А. И.** Моделирование управления группой мобильных роботов с использованием символического планирования // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцать третья Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. М.: Издательский дом МЭИ, 2017. Т. 3.

М. Р. Сайпулаев, студ.;
рук. Г. В. Панкратьева, к. ф.-м. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА КАМЕРТОННОГО ТИПА

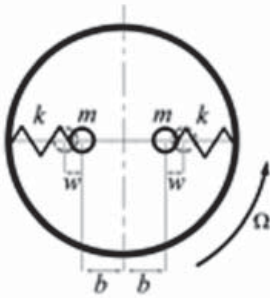


Рис. 1. Модель чувствительного элемента

Микромеханические гироскопы (ММГ) [1] являются широко используемым конструктивным элементом современных навигационных систем и применяются в различном оборудовании военного, транспортного, медицинского и бытового назначения. Создание адекватных математических моделей ММГ является важным этапом разработки конструктивных схем резонаторов, этому вопросу посвящено значительное число работ [2]. Как правило, в них предполагается, что величина угловой скорости подвижного объекта достаточно мала. В данном исследовании рассматривается случай значительной угловой скорости. Актуаль-

ность темы обусловлена необходимостью разработки ММГ, предназначенных для использования на высокودинамичных подвижных объектах.

В данной работе исследуется динамика модели ММГ камертонного типа в режиме собственных колебаний на вращающемся с постоянной угловой скоростью основании. Рассматривается конструкция чувствительного элемента, состоящая из упругой ножки и связанной с ней системы двух упругих стержней, совершающих синфазные колебания.

Расчетная схема модели приведена на рисунке. Построенные в работе уравнения колебаний являются по своей природе нелинейными. Решение этих уравнений получено методом осреднения [3] в предположении, что амплитуды колебаний обобщенных координат малы, порядка 10^{-3} , по сравнению с характерными размерами резонатора. Рассмотрены диапазоны значений безразмерной угловой скорости основания от 10^{-6} до 10^{-2} . В случае малой угловой скорости результаты совпадают с известными.

При значительных значениях угловой скорости обнаруживаются расхождения, требующие корректировки традиционных моделей.

Литература

1. **Шахнович И.** МЭМС-гироскопы — единство выбора // *Электроника: Наука. Технология. Бизнес.* 2007. № 1. С. 76–85.
2. **Меркурьев И. В., Подалков В. В.** Динамика микромеханического и волнового твердотельного гироскопов. М.: Физматлит, 2009. 228 с.
3. **Боголюбов Н. Н., Митропольский Ю. А.** Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М.: Наука, 1974. 503 с.

М. Б. Цветков, асп.; рук. Б. И. Адамов, к. ф.-м.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

СТАБИЛИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ АВТОНОМНЫМ СКУТЕРОМ С ШАРНИРНЫМ РУЛЕВЫМ МЕХАНИЗМОМ

Одно из направлений развития робототехники — транспорт. Не первый год зарубежные и отечественные компании занимаются разработкой беспилотных автомобилей — транспортных средств, которые могут передвигаться без участия человека, используя установленную систему автоматического управления.

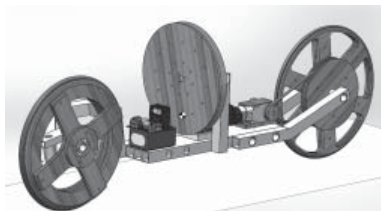


Рис. 1. Общий вид модели

Исследуемая система представляет собой двухколесный скутер, оснащенный системой маховичной стабилизации. Двигается скутер по горизонтальной абсолютно шероховатой плоскости. Его схема представлена на рисунке 1. В качестве основы было выбрано устройство, изобретенное Эндрю Килом, названное «Самоходное транспортное средство и мобильное шасси с шарнирным рулевым управлением» [1].

Построена математическая модель системы с допущениями о том, что оба колеса движутся без проскальзывания и отрыва от поверхности. Указанные условия определяют совокупность неголономных связей, налагаемых на скутер. Уравнения движения системы получены с использованием уравнений Лагранжа с неопределенными множителями [2].

Исследовано равномерное прямолинейное движение системы. В его окрестности уравнения динамики в линейном приближении распадаются на подсистему продольных и боковых движений. Последние имеют неустойчивый характер.

Для подсистемы малых боковых движений построено стабилизирующее модальное управление в виде отрицательной обратной связи по отклонениям обобщенных координат и скоростей от значений на программном движении.

Литература

1. Self-propelled vehicle and articulated mobile chassis thereof: US20100108423A1, US, Andrew Keel, Patent USA, 2010.
2. **Зацепин М. Ф., Мартыненко Ю. Г., Тиньков Д. В.** Уравнения Лагранжа, Воронца, Чаплыгина в задачах динамики мобильных роботов: методическое пособие. М.: Издательство МЭИ, 2005. 32 с.

О. В. Воробьев, студ.; рук. Б. И. Адамов, к. ф.-м. н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕСТИНОГО ШАГАЮЩЕГО РОБОТА



Рис. 1. Робот PhantomX AX Hexapod Mark III

Целью данного исследования является создание алгоритма расчета движения конечностей, при котором реализуется заданный закон движения робота PhantomX AX Hexapod Mark III, состоящего из шести ног и платформы. Конструкция ног является достаточно распространенной, она вдохновлена морфологией типичной конечности насекомого. Каждая нога состоит из трех звеньев — таза (*coxa*), бедра (*femur*) и голени (*tibia*), соединенных друг с другом цилиндрическими шарнирами.

Тазики ног соединены с платформой шарнирами, оси которых перпендикулярны плоскости платформы, а оси шарниров, соединяющих звенья каждой ноги, перпендикулярны плоскости ноги. Считается, что конечности невесомы, а движение происходит по горизонтальной плоскости без отрыва и проскальзывания опорных конечностей. Движение происходит тройками [1].

Построена кинематическая модель, связывающая параметры, определяющие положение платформы и углы, задающие положение ног.

Решена обратная задача кинематики, для произвольного движения платформы построен алгоритм расчета углов поворота конечностей из условия статической устойчивости робота. Полученные 18 массивов углов в сочленениях ног подаются на сервоприводы робота.

Алгоритм реализован в среде Wolfram Mathematica в виде скрипта, экспортирующего 18 массивов в формате CSV.

Литература

1. **Dariusz Grzelczyk, Bartosz Stanczyk, Jan Awrejcewicz** Prototype control system architecture and controlling of the hexapod legs with nonlinear stick-slip vibrations // *Mechatronics*. 2016 Volume 37. Pages 63–78.

Д. А. Цыганов, студ.;
рук. О. М. Капустина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОГРАММА C++ УПРАВЛЕНИЯ КУКА YOUBOT НА ОСНОВЕ ТОЧНОГО РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ

При планировании движений и управлении роботами решается обратная задача кинематики. Наличие точного аналитического решения для некоторых аппаратов позволяет строить эффективные по времени алгоритмы управления и получать все множество решений. В случае KUKA youBot [1, 2] существует точное решение обратной задачи кинематики, для нахождения которого требуется задание двух свободных параметров, вследствие кинематической избыточности механизма.

В [2] обратная задачи кинематики KUKA youBot решена аналитически без учета мобильности платформы. В [1] эта мобильность учтена введением двух параметров расположения платформы относительно рабочего органа. В задачах, где требуется обеспечить определенные положения рабочего органа и платформы в абсолютном пространстве, может быть использован метод параметризации решения абсолютными координатами платформы [3].

С помощью представленной программы C++ можно привести платформу в некоторое положение на плоскости, вычислить по заданным в абсолютном пространстве параметрам локации рабочего органа и двум абсолютным обобщенным координатам платформы третью абсолютную координату платформы и четыре решения, определяющих углы относительного расположения звеньев руки, а также выставить руку робота в найденные физически осуществимые конфигурации. Если решение нереализуемо, программа сообщает об этом. Разработка может быть полезна при исследовании различных вопросов кинематики и динамики управляемых движений роботов, а также в учебном процессе.

Литература

1. **Sharma S., Kraetzschmar G. K., Scheurer C., Bischoff R.** Unified closed form inverse kinematics for the KUKA youBot. Proceedings of the 7th German Conference on Robotics, May 2012, Munich, Germany. Pp. 1–6.
2. **Brandstötter M., Angerer A., Hofbauer M.** An Analytical Solution of the Inverse Kinematics Problem of Industrial Serial Manipulators with an Ortho-parallel Basis and a Spherical Wrist // Proceedings of the Austrian Robotics Workshop, 2014. Pp. 7–11.
3. **Капустина О. М.** Описание множества точных решений обратной задачи кинематики робота KUKA youBot с помощью обобщенных координат его платформы // Естественные и технические науки. 2016. № 12. С. 176–180.

И. Ю. Шаров, студ.;
рук. А. И. Кобрин, д. ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ МАГНИТНЫМ ПОДВЕСОМ

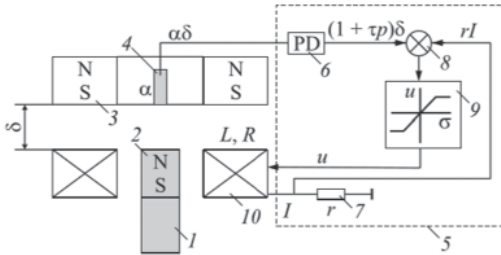


Рис. 1. Схема магнитного подвеса с постоянными магнитами

Объектом исследования в данной работе служит управляемый магнитный подвес с постоянными магнитами. Целью работы является выбор таких параметров системы регулирования, которые позволили бы снизить эксплуатационные затраты при значительном трении деталей, а также минимизировали энергопотребление.

Подвесы большинства известных на сегодня высокоскоростных транспортных систем (ВТС) выполнены на базе электромагнитов. Так в России, Германии и Китае уже созданы и испытаны макеты ВТС с магнитным подвесом на основе постоянных магнитов из редкоземельных материалов и объемных высокотемпературных сверхпроводниковых керамических материалов [1].

В работе рассмотрена схема простейшего управляемого магнитного подвеса с постоянными магнитами (см. рисунок), предложенная В.С. Воронковым в работе [2]. Построена математическая модель подвеса, проведены вычислительные эксперименты. Определен оптимальный закон управления подвесом, минимизирующий квадратичный функционал, который характеризует энергозатраты системы управления.

В качестве инструмента компьютерного моделирования используется система компьютерной алгебры Mathcad и система компьютерной математики Maple 17.

Литература

1. Ковалев Л. К., Конеев С. М., Полтавец В. Н., Гончаров М. В., Ильясов Р. И. Магнитные подвесы с использованием объемных ВТСП элементов для перспективных систем высокоскоростного наземного транспорта. — М.: Из-во МАИ. Труды МАИ. 2010. № 38. С. 39.
2. Воронков В. С., Малкин С. А. Экономичный простейший магнитный подвес // Журнал технической физики. 2011. Т 81. вып. 11. С 135–139.

Направление
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Научный руководитель направления —
директор ИЭЭ, к.т.н., доцент В.Н. Тульский

Секция 51

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Председатель секции — к. т. н., доцент О. Н. Кузнецов

Секретарь секции — ассистент А. Н. Шаров

А. С. Арустамов, студ.; рук. Н. Ш. Чемборисова, д. т. н. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СВОЙСТВ СХЕМ СОЕДИНЕНИЯ СЕТИ ИМЕЮЩИХ РАЗЛИЧНЫЕ КОНФИГУРАЦИИ И ПАРАМЕТРЫ

Выбор конфигурации сети при определении ремонтной схемы или на раннем этапе проектирования зависит от многих факторов. Вариативность таких факторов и различность условий приводит к многообразию схем соединения с различными параметрами, свойствами и технико-экономическими показателями. Важным критерием выбора являются токи короткого замыкания (ТКЗ) и изменения напряжения в узлах сети (ΔU) при изменении режима нагрузки. Анализ жесткости и сенсорности узлов сети, позволяет выявить схему с балансом между величиной ТКЗ и ΔU в узлах [1]. Предложен алгоритм облегчающий выбор конфигурации сети путем формализованного сопоставления вариантов, исключаящий необходимость считать ТКЗ для всех вариантов схем, ограничившись расчетом необходимых режимов для определения жесткости и сенсорности узлов.

Жесткие узлы характеризуются тем, что слабо реагируют на изменение режима сети и большими ТКЗ, а сенсорные узлы, наоборот, сильно реагируют на большие и малые изменения P и Q составляющей нагрузки в узле и характеризуются малыми значениями ТКЗ [2]. В качестве основного критерия оценки схемы применялось соотношение, отражающее, насколько сильно U в узле меняется относительно $U_{ном}$ при увеличении нагрузки на единицу P или Q мощности — «коэффициент чувствительности — k_q ».

Сформирован алгоритм задания ограничений по ТКЗ и по ΔU с учетом нормативов и статистического метода оценки, указанных выше параметров. Для примера были получены значение $3\phi \text{ ТКЗ} = 2,77 \text{ кА}$ и $\Delta U_{220\text{кВ}} = 4,79 \text{ кВ}$, превышение которых позволяет отбраковывать схему, и соответствующие им $k_q = 0,021$ для вариантов конфигураций тестовой схемы. В результате установлено, что по коэффициентам чувствительности можно проводить формализованное сопоставление схем разных конфигураций и определять схемы, наиболее отвечающие требованию приемлемых ТКЗ и ΔU еще до расчетов ТКЗ для каждой схемы. Таким образом, отпадает необходимость считать ТКЗ для всех вариантов схем и сокращается затрачиваемое время и трудовые ресурсы на выбор схемы.

Литература

1. **А. З. Гамм, И. И. Голуб** Сенсоры и слабые места в электроэнергетических системах // Иркутск СЭИ СО РАН (1996)
2. **Савоськин Н. Е.** Надежность электрических систем // Издательство Пензенского государственного университета Пенза, 2004

*Д. М. Бисеров, В. С. Смирнов, студ.;
рук. Т. Г. Климова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Частота является важнейшим режимным параметром ЭЭС. Значения частоты имеют отклонения в разных точках ЭЭС и зависят от типа возмущающих воздействий и электрической величины, которая берется за основу для измерения частоты. На данный момент анализ изменения частоты производится только для определения состояния энергосистемы в целом, без учета электрической величины, относительно которой измеряется частота, и алгоритма измерения. Кроме того, точность существующих частотомеров нормируются в статических режимах [1]. В переходных режимах частотомеры ведут себя согласно их принципам измерения. Отсюда необходимо анализировать влияние типа возмущающих воздействий и способа измерения частоты на точность получаемых результатов и их использование на практике.

При проведении исследования поведения различных частотомеров при переходных процессах использовался программный комплекс Mathlab, включающий в себя подпрограмму моделирования Simulink [2]. В Simulink были смоделированы две ЭЭС: 110 и 220 кВ.

В двух моделях ЭЭС рассмотрены разные возмущающие воздействия, приводящие к изменению частоты. Изменения частоты отслеживаются в разных точках ЭЭС системой измерения, синхронизированной по единому времени в рамках подпрограммы. Система измерения частоты представлена группой частотомеров, работающих по разным алгоритмам и измеряющих частоту разных электрических величин. Даны оценки точности измерения частоты в разных электрических величинах и рекомендации по их использованию.

Полученные результаты могут быть использованы для определения оптимальной методики и способа измерения частоты в ЭЭС, что существенно может повысить качество регулирования частоты и активной мощности в ЭЭС. Так же, при рассмотрении процесса в динамике, можно сделать вывод о глубине, типе и удаленности возмущения от точки, в которой производились измерения частоты.

Литература

1. **Ермаков В. Ф., Федоров В. С.** Частотомеры промышленного напряжения. — М.: Вузовская книга, 2012.
2. **Черных И. В.** Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. 1-е издание, 2007.

Р. В. Булатов, А. В. Кочергин, студ.;
С. В. Локтионов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ФАЗОСДВИГАЮЩЕГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ОПТИМАЛЬНЫЙ УГОЛ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Одним из способов снижения потерь активной мощности, обусловленных неоднородностью электрической сети, является применение фазосдвигающих трансформаторов (ФСТ) [1]. Изменяя угол регулирования ФСТ можно перераспределять потоки мощности в сети, оптимизируя их по необходимым для каждой конкретной задачи критериям. В настоящее время разработан алгоритм определения оптимального угла регулирования ФСТ по критерию минимума потерь активной мощности ΔP [2]. В данном алгоритме ФСТ вводится в виде допущения постоянным сопротивлением, что в ряде случаев не учитывает особенность ФСТ, такую, как зависимость его реактивного сопротивления от угла регулирования θ [3].

Проведенные исследования с помощью разработанного алгоритма и программы *RastrWin3* заключались в оптимизации величины потерь активной мощности и расчета угла θ при учете влияния изменяющегося реактивного сопротивления ФСТ. Для этого разработанный алгоритм был модифицирован для определения оптимального угла регулирования θ и оптимальных потерь в сети ΔP . В результате исследования было установлено, что значение оптимального угла уменьшается при увеличении сопротивления. Это связано с тем, что регулируемое сопротивление ФСТ выступает в роли продольного реактора, вытесняя мощность в другие ветви сети.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что в тех случаях, когда для оптимизации режима требуются углы регулирования менее 30° , значение реактивного сопротивления ФСТ в расчетах можно принимать постоянным, однако в задачах, где требуются значительные углы регулирования (более 30°), желательно учитывать изменение сопротивления в целях снижения погрешности расчетов.

Литература

1. Технологии и технические средства управления режимами электроэнергетических систем. Учебное пособие для вузов / Под. ред. Ю. В. Шарова. М.: Инновационное Машиностроение, 2017. С. 184–217.
2. Локтионов С. В., Сыромятников С. Ю. Разработка алгоритма для выбора места установки фазорегулирующего трансформатора в энергосистеме // Вестник МЭИ. 2003. № 1. С. 41–49.
3. Киорсак М. В., Солдатов В. А., Зайцев Д. А. Гибкие линии электропередачи с продольно-емкостной компенсацией и фазопоротным трансформатором. Кишинев: АН Республики Молдова. 1997. — 213 с.

Э. Энхсайхан, асп.; рук. А. Г. Фишов, д.т.н., проф. (НГТУ, Новосибирск)

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ И УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ ЮЖНОГО РЕГИОНА МОНГОЛИИ

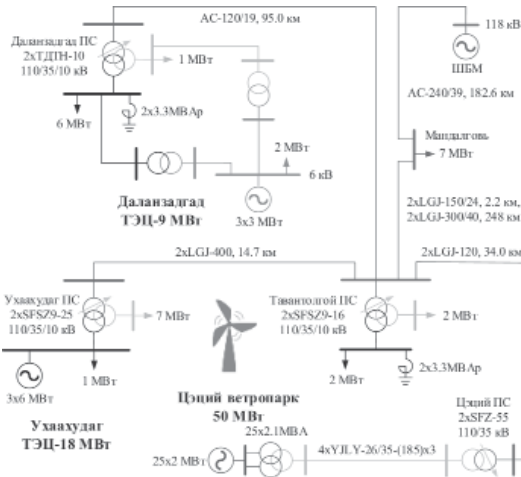


Рис. 1. Фрагмент схемы электрической сети южного региона

В зоне электроснабжения электрической сети южного региона Монголии ввели в эксплуатацию источники малой генерации: в 2000 году Даланзадгал ТЭЦ (ДТЭЦ) мощностью 9 МВт, в 2011 году Ухаахудаг ТЭЦ (УТЭЦ) мощностью 18 МВт и в октябре 2017 года Цэций ветропарк (ЦВП) мощностью 50 МВт. В настоящее время УТЭЦ работает параллельно с сетью центральной ЭЭС (ЦЭЭС), ДТЭЦ и ЦВП автономно.

УТЭЦ соединяется с мощной узловой подстанцией воздушными ЛЭП напряжением 110 кВ (суммарной длиной около 450 км). Противоаварийная автоматика УТЭЦ по факту аварийного снижения напряжения отключает ее энергоблоки при возмущениях в сети в ЦЭЭС. Частые посадки на ноль станции является актуальной проблемой, требующей решения в настоящее время, особенно учитывая необходимость включения на параллельную работу с сетью других станций.

Для выявления причин отключений энергоблоков и предложения способов управления электростанцией, предотвращающих ее посадку на ноль, проведен анализ нормальных и аварийных режимов электрической сети южного региона. Фрагмент схемы электрической сети южного района представлен на рис. 1. Было выявлено, что необходимость отключения энергоблоков вызвана вероятностью возникновения недопустимых динамических электромагнитных моментов генераторов в электромеханическом процессе [1].

Для решения задачи предложено использование специального управления режимом параллельной работы станции с сетью с противоаварийным сбалансированным делением сети и автоматическим восстановлением нормального режима.

Литература

1. Фишов А. Г., Мукатов Б. Б. Реконфигурация электрических сетей с распределенной генерацией и мультиагентным управлением // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2015, № 9. — С. 143–152.

*С. В. Глушкин, И. С. Протасенко, студенты;
рук. А. В. Шунтов, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНОВЫХ ПРОСТОЕВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ОСНОВНОЙ СЕТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Характеристики надежности воздушных линий (ВЛ) подвергались анализу в большом количестве публикаций. Однако накопленные за несколько десятилетий данные противоречивы, особенно в части преднамеренных отключений, и требовали уточнений.

В качестве исходных данных были взяты ежемесячные отчеты о фактически проведенных ремонтах ВЛ за период 2014–2016 гг. в единой национальной электрической сети (т.е. сети напряжением 220–750 кВ) для большинства регионов страны. Статистическая выборка составила 355,6 тыс. км–лет и 5489 линий–лет. Преднамеренные отключения классифицировались согласно [1] по следующим признакам: для проведения планового или внепланового ремонтов, или технического обслуживания ВЛ (группа 1); планового или внепланового ремонтов, технического обслуживания и реконструкции смежного оборудования (группа 2); реконструкции собственно ВЛ (группа 3); строительно-монтажных и иных работ в охранных зонах ВЛ по заявкам сторонних организаций (группа 4).

Полученные в результате статистического анализа характеристики надежности преднамеренных отключений ВЛ 220–750 кВ см. в табл. 1.

Таблица 1

Параметр	Напряжение, кВ			
	220	330	500	750
Средняя частота ремонтов по группе 1, 1/год	2,22	2,81	2,84	2,24
Тоже, но по группе 2	0,31	0,25	0,35	0,72
Тоже, но по группе 3	0,01	0,02	0	0
Тоже, но по группе 4	0,04	0,01	0,02	0
Всего по группам 1–4	2,6	3,1	3,2	3,0
Средняя продолжительность ремонтов по группе 1, ч	100	153	132	180
Тоже, но по группе 2	80	102	83	91
Тоже, но по группе 3	139	88	408	0
Тоже, но по группе 4	50	277	152	0
Всего по группам 1–4	98	149	127	159
Среднегодовая продолжительность ремонтов, ч	249	459	407	471

Из табл. 1 следует, что линия 220–750 кВ преднамеренно выводится из работы от 2,6 до 3,2 1/год. Эти характеристики сходны с данным 80-х годов прошлого столетия: 1,5–2,9 1/год. Однако за этот же период средняя продолжительность планового простоя ВЛ возросла с 12–17 до 98–159 ч, т. е. почти в 10 раз, что значительно снижает надежность энергосистем.

Литература

1. **Барг И. Г., Эдельман В. И.** Воздушные линии электропередачи. М.: Энергоатомиздат, 1985.

В. В. Коробка, студент; рук. О. В. Дичина, к.т.н. (Москва)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПРИ РАСЧЕТАХ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ

В настоящее время отдельные участки энергосистем находятся в ведении различных сетевых компаний. При многовариантных расчетах режимов часто возникает необходимость корректного учета прилегающих сетей. Справиться с этой проблемой помогает процедура эквивалентирования — упрощения сложной модели ЭЭС до более простой с сохранением требуемых свойств.

Приведен сравнительный анализ применения двух методов эквивалентирования: традиционного метода [1] и сравнительно нового метода, основанного на применении матричных делителей нуля [2]. Расчеты эквивалентов прилегающих сетей проводились на примере схем Удмурэнерго и Янтарьэнерго.

Параметры режима, вычисленные без учета эквивалента, являются недостоверными: отклонение модулей напряжений в некоторых узлах до 5%, фаз напряжений вплоть до 90%, а, потоков активных мощностей в ветвях вплоть до 1000%! Этот факт говорит о необходимости учета эквивалентов. В [2] выявлено, что с увеличением размера системы и числа исключаемых узлов, растет влияние погрешности в исходных данных и вычислительной погрешности на значения параметров режима. Критерием оценки устойчивости к погрешностям являются числа обусловленности $cond(\hat{Y}^o)$ и $cond(\hat{Y}^s)$, вычисленные для матриц узловых проводимостей эквивалентных систем уравнений \hat{Y}^o и \hat{Y}^s .

Вычислительный процесс алгоритмов эквивалентирования строится на матричных преобразованиях, поэтому для расчета эквивалентов была написана программа в среде математического моделирования Matlab.

Применение метода эквивалентирования, основанного на применении матричных делителей нуля по сравнению с традиционным алгоритмом позволяет улучшить обусловленность получаемой системы уравнений, а, следовательно, и точность получаемых эквивалентов.

Литература

1. **Dorde M, Dobrijevic and Dragan P. Popovi.** An Unified External Network Equivalent in Steady-State Security Assessment // FACTA UNIVERSITATIS. 2010 vol. 23, no. 2, p. 179–189.
2. **М. Ш. Мисриханов, В. Н. Рябченко.** Метод эквивалентирования электрической сети на основе матричных делителей нуля // Электро. 2010. № 1. С. 15–19.

А. В. Макаров, студ.; рук Н. Ш. Чемборисова, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТИПОВ И ПАРАМЕТРОВ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАГРУЗКИ НА РЕЖИМЫ РАБОТЫ СИСТЕМЫ

Одной из важных задач является выявление ограничений на передачу электрической энергии и мощности по сечениям и отдельным элементам электрической сети. Задачи повышения точности определения таких ограничений являются крайне важными, поскольку их грубая оценка приводит к завышению запасов по параметрам режима и, как следствие, к недоиспользованию возможностей технико-экономических показателей электроэнергетической системы [1].

Статические характеристики нагрузки — зависимости активной и реактивной мощностей нагрузки от напряжения при медленных изменениях параметров режима [2]. Аналитически, для практических расчетов СХН можно представить в виде полиномов второй степени:

$$\begin{aligned} P(U) &= P_{\text{НОМ}} \cdot \left[a_0 + a_2 \left(\frac{U}{U_{\text{НОМ}}} \right)^2 \right] \\ Q(U) &= Q_{\text{НОМ}} \cdot \left[b_0 + b_2 \left(\frac{U}{U_{\text{НОМ}}} \right)^2 \right], \end{aligned} \quad (1)$$

где $P_{\text{НОМ}}$, $Q_{\text{НОМ}}$ — активная и реактивная мощности нагрузки, соответствующие номинальному напряжению; a_0 , a_2 , b_0 , b_2 — коэффициенты СХН по активной и реактивной мощности; U — текущее значение напряжения узла нагрузки.

В данной работе проводится оценка влияния типов и параметров СХН на режимы работы системы. Были проведены расчеты режимов с использованием программного комплекса Matlab для сети 110–220 кВ. По результатам расчетов были построены зависимости U , P , Q от СХН. Анализ полученных результатов дал возможность определить сенсорные (чувствительные) узлы; оценить влияние представления нагрузки (при задании коэффициентов СХН (-1;0) — активно-емкостная нагрузка, а при задании СХН (0;1) — активно-индуктивная нагрузка) на степень чувствительности узлов; получить на их базе уточненную оценку ограничений на передачу мощности по элементам сети.

Литература

1. **Хрущев Ю. В. Панкратов А. В.** Методика идентификации статических характеристик нагрузки по результатам активного эксперимента / Известия Томского политехнического университета. Техника и технологии в энергетике. 2014. Т. 325. № 4 С. 164–175.
2. **Идельчик В. И.** Электрические системы и сети: Учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1989, — с.: ил. ISBN 5-283-01012-0

Д. В. Михеев, асп.; М. В. Карпунина, Г. С. Алексеенкова,
П. М. Третьяков, студ.; рук. М. П. Жохова, к.т.н., доц.;
Ф. Н. Шакирзянов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)

КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»

Использование современных программно-технических комплексов (ПТК) для моделирования и расчета учебных задач в электроэнергетике и электротехнике повышает качество отображения результатов экспериментов, обеспечивает высокий уровень инженерных навыков обучающихся и является критерием успешного освоения образовательной программы.

Ввиду проведенной модернизации лабораторных стендов за счет установки информационно-измерительного ПТК «DeltaProfi» [1] в работе ставится задача адаптации и обновления лабораторных работ по курсу «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ). Данный ПТК благодаря наличию аналого-цифрового преобразователя позволяет представлять результаты физических экспериментов на персональном компьютере.

Внедрение авторами ПТК «DeltaProfi» позволяет при проведении лабораторных работ по курсу ТОЭ осуществлять осциллографирование периодических сигналов, регистрацию изменения мгновенных значений сигналов во времени, автоматизацию проведения экспериментов и снятия зависимостей, а также производить компьютерное моделирование электрических цепей в среде MATLAB Simulink. Отображение интерактивных мнемосхем с расширенным набором измеряемых величин представлено на рис. 1.

Результаты работы были использованы при разработке приложения к обновленному сборнику лабораторных работ по первой части курса «Теоретические основы электротехники» программы бакалавриата ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» по направлению «Электроэнергетика и электротехника».

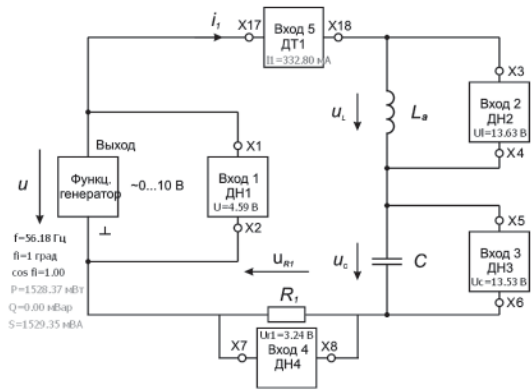


Рис. 1. Пример измерений в ПТК «DeltaProfi»

Литература

1. Программно-технический комплекс DeltaPROFI. URL: <http://www.uralstend.ru/DeltaProfi.pdf>.

*Е. С. Нестеренко, студент;
рук. Ю. М. Сидоркин, к.т.н., доц. (НГТУ, Новосибирск)*

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ г. НОВОСИБИРСКА

Анализируя состояние существующей распределительной сети 110 кВ Новосибирской энергосистемы, можно отметить, что по условию полноценного использования мощности электростанций развитие электрических сетей 110 кВ на сегодняшний день является недостаточным. Подтверждение этому — схема выдачи мощности крупнейшей ТЭЦ г. Новосибирска, блоки которой подключены к шинам ПС Восточная. Линии, отходящие от шин 110 кВ ПС Восточная, сильно загружены, что затрудняет дальнейшее распределение генерируемой мощности ТЭЦ по электрической сети г. Новосибирска. Также для создания возможности подключения новых потребителей, повышения надежности электроснабжения ответственных потребителей МУП «Горводоканал» необходима реконструкция ПС Камышенская, которая получает питание от шин ПС Восточная. Перечисленные факторы определяют актуальность и практическую ценность данной работы.

На основании проведенных мной расчетов установившихся электрических режимов потокораспределения и уровней напряжения для нормальной и основных ремонтных схем [1] по модели энергорайона, созданной в ПВК RastrWin, для решения вышеуказанных задач предлагается усиление транзита ПС Восточная — ПС Мостовая: строительство III цепи. Изначально предполагалось выполнить данную линию кабельной, так как она будет проходить в черте города, но расчеты показали, что в этом случае она будет сильно загруженной даже в нормальной схеме за счет неоднородности сети. Поэтому мной предложено выполнить участок линии ПС Восточная — ПС Камышенская кабелем, а участок линии ПС Камышенская — ПС Мостовая кабелем и проводом АС 300. Провод АС 300 будет идти по территории, занятой лесным массивом.

Для проверки проектируемой линии по нагреву были рассмотрены схемно-режимные ситуации, связанные с плановым и аварийным отключением элементов прилегающей сети. Выявлено, что в некоторых зимних режимах нагрузка проектируемой линии превышает аварийно-допустимую, поэтому принято решение установки на этой линии противоаварийной автоматики ограничения перегрузки оборудования — АОПО. Для данной АОПО планируется 3 группы установок: действие на сигнал, на деление системы и на отключение защищаемой линии.

Литература

1. **Лыкин А. В.** Электрические системы и сети: учеб. пособие. — М.: Университетская книга, 2008. — 254 с.

Плотников В. В., студент; рук А. В. Шунтов, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДЕЖНОСТИ (АВТО) ТРАНСФОРМАТОРОВ 220–750 КВ

Характеристики надежности (авто)трансформаторов подвергались анализу в большом количестве публикаций. Однако накопленные за несколько десятилетий данные противоречивы, особенно в части преднамеренных отключений, и требовали уточнений.

В качестве исходных данных были взяты ежемесячные отчеты о фактически проведенных ремонтах (авто)трансформаторов за период 2014–2016 гг. в единой национальной электрической сети (т.е. сети напряжением 220–750 кВ) для всех регионов страны. Статистическая выборка составила 3993 (авто)трансформаторов-лет. Преднамеренные отключения (т.е. не аварийные) классифицировались по следующим признакам: отключения для проведения планового (группа 1) или внепланового (группа 2) ремонтов или технического обслуживания (авто)трансформаторов, а также отключения, вызванные необходимостью производства плановых или внеплановых ремонтов, технического обслуживания или реконструкции (группа 3) смежного оборудования.

Полученные в результате статистического анализа характеристики надежности (авто)трансформаторов 220–750 кВ см. в табл. 1.

Таблица 1

Параметр	Напряжение, кВ			
	220	330	500	750
Средняя частота ремонтов по группе 1, 1/год	1,31	1,73	1,54	1,69
Тоже, но по группе 2	0,54	0,38	0,46	0,56
Тоже, но по группе 3	0,48	0,33	0,47	0,69
Всего по группам 1–3	2,33	2,44	2,47	2,94
Средняя продол. ремонтов по группе 1, ч	184	200	218	343
Тоже, но по группе 2	136	105	134	139
Тоже, но по группе 3	90	81	110	25
Всего по группам 1–3	153	169	182	229
Среднегодовая продолжительность ремонтов, ч	357	412	450	673

Из табл. 1 следует, что (авто)трансформаторы 220–750 кВ преднамеренно выводятся из работы от 2,3 до 2,91/год. Эти характеристики сходны с данными 1970-х гг. [1]. Однако фактические средние продолжительности и среднегодовые длительности плановых ремонтов (авто)трансформаторов оказались многократно выше опубликованных значений [1].

Литература

1. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред Д.Л. Файбисовича. — М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2005.

*А. В. Проничев, Е. О. Солдусова, студ.;
рук. Е. М. Шишков, к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)*

РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЕМКОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

В середине XX в. профессором Н.Ф. Ракушевым был предложен способ реализации идеи продольной самокомпенсации — разомкнутая воздушная линия (РВЛ) электропередачи, каждая фаза которой состоит из двух изолированных друг от друга проводников, один из которых подключен к шинам передающей подстанции, а второй — к шинам приемной. В работе [1] авторами предложена усовершенствованная конструкция разомкнутой ВЛ.

Цель работы — анализ эффективности применения предложенной в [1] конструкции трехфазной РВЛ как средства регулирования напряжения.

Для анализа эффективности применения РВЛ используются методы математического моделирования в среде RastrWin3.

Регулирование напряжения в сети производилось путем шунтирования продольной емкости РВЛ с целью снижения напряжения в узлах линии и дешунтирования — для увеличения напряжения. По результатам расчета режима были определены значения напряжения во всех узлах сети до и после включения шунтируемой продольной емкости на ВЛ 500 кВ Ростовская АЭС — Шахты (табл. 1).

Таблица 1

Узел	Напряжение, кВ	
	до компенсации	после компенсации
Ростовская АЭС	525	
Шахты	496,24	522,92
Тихорецк	516,72	517
Центральная	502,94	503,09
Кубанская	498,94	499,09
Ставропольская ГРЭС	503,32	503,46
Невинномысск	514,07	514,05
Буденновск	524,5	524,46

Расчеты показывают, что основанный на использовании внутрифазной распределенной емкости РВЛ способ регулирования напряжения может быть использован в случаях недостаточности регулирующего воздействия прочих используемых в сети средств регулирования напряжения.

Литература

1. **В. Г. Гольдштейн, Е. М. Шишков** / Пат. 130458 РФ, МПК8 Н 02 J 3/20. Разомкнутая трехфазная воздушная линия электропередачи переменного тока; ФГБОУ «Самарский государственный технический университет». № 2013103649/07; заявл. 28.01.2013; опубл. 20.07.2013, Бюл. № 20.

*К. С. Рослова, студент;
рук. Т. А. Васьковская, к. т. н. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ КОМПЕНСАТОРОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЭС

В электроэнергетических системах (ЭЭС) для регулирования напряжений в узлах, снижения потерь и повышения надежности ЭЭС используется компенсация реактивной мощности (РМ). В качестве компенсирующих устройств (КУ) могут использоваться батареи статических конденсаторов, синхронные компенсаторы, статические тиристорные компенсаторы [1]. В данной работе решена задача нахождения оптимального расположения КУ, при котором повышается экономичность функционирования ЭЭС. Согласно [2] решение подобного рода задач обеспечивается аналитическими и эвристическими методами, использованием нейронных сетей, исследованием чувствительности режимов ЭЭС, а также комбинацией указанных подходов.

Для решения задачи нами предложен двухуровневый подход. На нижнем уровне решается задача оптимизации потоков мощности ЭЭС в комплексной постановке по критерию минимума стоимости производства и распределения электроэнергии. Решение проводится с помощью пакета MATPOWER [3]. На верхнем уровне первая задача используется в качестве функции, возвращающей оптимальный режим ЭЭС при заданных местах установки КУ. Выбор КУ производится по справочнику, в котором перечислены устройства различной мощности вместе со стоимостью их установки. Целью второй задачи является поиск оптимальных мест расположения КУ и выбор конкретных устройств. Решение проводится с помощью генетического алгоритма MATLAB Optimization Toolbox.

Эффект от установки УК демонстрируется на двух ЭЭС: тестовой IEEE-30 и схеме зимнего максимума Белгородской энергосистемы, состоящей из 400 узлов. Подход может быть использован Системным оператором и сетевыми компаниями.

Литература

1. **А. А. Герасименко.** Оптимальная компенсация реактивной мощности в системах распределения электрической энергии. — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. — 218 с.
2. **Sirjani R., Rezaee Jordehi A.** Optimal placement and sizing of distribution static compensator (D-STATCOM) in electric distribution networks: A review // Renew. Sustain. Energy Rev. Elsevier Ltd, 2017. Vol. 77. P. 688–694.
3. **R. D. Zimmerman.** MATPOWER: Steady-State Operations, Planning and Analysis Tools for Power Systems Research and Education, Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 26, no. 1, pp. 12–19, Feb. 2011.

*М. Е. Щербаков, студент;
рук. Д. Н. Дадонов, к. т. н., доц. (СамГТУ, Самара)*

ПОВЫШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ БАЛАКОВСКОЙ АЭС

Обеспечение динамической устойчивости генерирующего оборудования электростанций при нормативных возмущениях является одним из основных принципов управления режимами электроэнергетических систем [1]. В настоящее время на Балаковской АЭС (установленная мощность 4000 МВт, 4 энергоблока по 1000 МВт каждый) установлена противоаварийная автоматика, предназначенная для предотвращения нарушения динамической устойчивости энергоблоков — автоматика разгрузки при затяжных коротких замыканиях (АРЗКЗ-220, АРЗКЗ-500), которая действует на отключение генерации в Саратовской энергосистеме [2].

В работе предложен ряд мероприятий, позволяющих минимизировать объем противоаварийного управления от АРЗКЗ-220, АРЗКЗ-500 Балаковской АЭС относительно существующего, и выполнен их анализ.

С помощью ПВК Eurostag v.5.1 на верифицированной математической модели для расчетов переходных процессов ОЭС Средней Волги с учетом требований [3] выполнены соответствующие проверочные расчеты.

Разработаны предложения по оптимизации настройки АРЗКЗ-220, АРЗКЗ-500 Балаковской АЭС с учетом внедрения импульсной разгрузки энергоблоков и возможности выявления присоединения, на котором возникло затяжное короткое замыкание.

Результаты работы могут быть применены при модернизации

АРЗКЗ-220, АРЗКЗ-500 Балаковской АЭС, а также при оптимизации настройки других комплексов противоаварийной автоматики ЕЭС России.

Литература

1. **Щербаков М. Е.** Оценка мероприятий для повышения динамической устойчивости генерирующего оборудования Балаковской АЭС / М. Е. Щербаков, Д. Н. Дадонов, Д. Г. Слипенчук // Электроэнергетика глазами молодежи: материалы VIII Международной научно-технической конференции, 02–06 октября 2017, Самара. — В 3 т. Т 2. — Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2017. — 370 с. / с. 215–218.
2. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 55105-2012 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования.
3. **СО 153-34.20.576.2003** Методические указания по устойчивости энергосистем. — М.: ЗАО «Издательство НЦ ЭНАС», 2004.

С. А. Титова, студ. ;
рук. Н. Ш. Чемборисова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ПОИСКА БЛИЖАЙШЕГО ПРЕДЕЛЬНОГО РЕЖИМА

Расчеты предельных по статической аperiodической устойчивости (САУ) режимов актуальны при проектировании и эксплуатации электроэнергетических систем и в настоящее время становится все более востребовано, что вызвано широким внедрением современных средств вычислительной техники для диспетчерского управления системами.

Существует ряд алгоритмов и методов, направленных на решение задачи поиска ближайшего предельного режима,

Первый подход основан на определении предельных по статической устойчивости режимов ЭЭС в заданном направлении утяжеления. Реализация второго подхода сводится к поиску экстремума целевой функции, состоящей из суммы квадратов невязок уравнений узловых напряжений [1]. Третий подход основан на аппроксимации PV-кривых [2].

Эффективность данных методов сравнивалась на основе длины вектора пространства размерности $(n-1)$, характеризующего n -узловую схему. Длина этого вектора соответствует удаленности предельного режима от исходного. В качестве тестовой была выбрана схема 2PQ-узла — ШБМ, параметры которой представлены на рис. 1. Результат расчета в таблице 1.

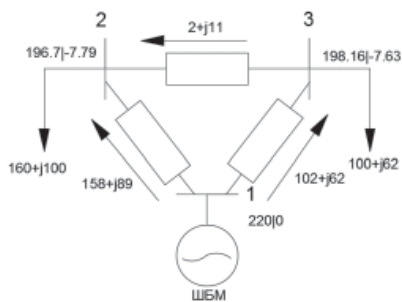


Рис. 1. Модель 2PQ-узла — ШБМ

Таблица 1. Результаты расчета

Метод	Утяжеления	Оптимизационный	Аппроксимация PV-кривых
Длина вектора	195,31	186,35	195,49

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что оптимизационный метод расчета позволяет найти ближайший к исходному предельный режим.

Литература

1. Паздерин А. В., Шабалин Г. С. Анализ статической устойчивости с использованием квадратичной целевой функции при учете ограничений в форме равенства // Тр. IV М. конф. «Электроэнергетика глазами молодежи», 2016.
2. Pama A., Radman G. A new approach for estimating voltage collapse point based on quadratic approximation of PV-curves // Electric Power Systems Research, 2009.79

*O. Tsogbayar, Ph.D student (MUST, Mongolia);
E. Enkhsaikhan, Ph.D student (NSTU, Russia);
Supervisor D. Sodnomdorj D.Sc., Prof. (MUST, Mongolia)*

COMPLEX MATHEMATICAL MODEL OF THE MONGOLIAN CENTRAL ENERGY SYSTEM’S (CES) ELECTRIC LOAD AND ENERGY CONSUMPTION

In this paper, comparisons of mathematical statistical methods for planning the use of electric power systems have been compiled and compiled a realistic complex mathematical model for planning the use of electrical loads and power consumption in the CES of Mongolia. Mathematical methods used in this study are the regression, dispersion and factor analysis.

Mathematical modeling provides creating mathematical model with the help of modern mathematical methods that can express essence of the complex process. Mathematical modeling methods are developing based on the probability theory, mathematical statistics and its direction, factor analysis, uncertain theory on sets and experts assessment. In order to model the stochastic, first of all, have to know about general principle law of random process and their parameters. In most cases, the primary data will be incomplete, and in many cases is not clear. This makes it impossible to using mathematical statistics methods [1]. Therefore next stage of the mathematical modeling is look for the method modeling uncertain model.

The peak electrical load and consumption statistics of the five-year of CES are shown in Table 1.

Table 1. The peak load and power generation of Central energy system

Parameters, Year	1995	2000	2005	2010	2015
P_{max} , MW	450	506	576	729	965
W_{gen} , mill.kW.h	2485	2846	3450	4313	5378

The results of complex mathematical models and electrical loads and consumption planning are outlined in Table 2.

Table 2. The forecasting mathematical models and some plan results

Parameters, Year	2014	2016	2018	2020	2022
$P_{max,plan}$, MW	884	967	1059	1158	1265
$W_{gen,plan}$, mill.kW.h	5026	5431	5864	6325	6815
Electrical load, $P(t)$	$0.45 \cdot (1.45t^2 - 10.63t + 472) + 0.55 \cdot (387.6e^{0.035t})$, $R = 0.986$				
Electrical consumption, $W(t)$	$0.334 \cdot (130.12t + 1931) + 0.322 \cdot (6.52t^2 - 13.35t + 2481) + 0.344 \cdot (2156.5e^{0.0378t})$, $R = 0.988$				

References

1. **Sodnomdorj D.** “Mathematical methods of engineering study” Ulaanbaatar 2009.

*В. И. Закутский, Н. С. Ермолов, студенты;
рук. В. Н. Рябченко, д. т. н. (НИУ «МЭИ»)*

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ОБЩЕСИСТЕМНЫЕ ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Эффективное использование энергетических ресурсов является одним из главных направлений развития ведущих стран мира. Учитывая объемы передачи электроэнергии по сетям 220–750 кВ ПАО «ФСК ЕЭС», повышение эффективности данной отрасли даст существенный экономический эффект. В настоящий момент актуальна задача оптимизации потоков реактивной мощности в магистральных сетях за счет устройств регулирования коэффициентов трансформации (РПН), неуправляемых устройств компенсации реактивной мощности (БСК, ШР), управляемых устройств компенсации реактивной мощности (СТАТКОМ, СТК, УУПК, СК, АСК, УШР) [1, 2].

При проведении исследования влияния вышеуказанного оборудования, установленного на подстанциях, на перераспределение потоков реактивной мощности авторами использовался программный комплекс «RastrWin». Расчеты выполнялись в модели ЕЭС для выборки подстанций 500 и 220 кВ.

В результате расчетов определялся оптимальный режим работы каждого типа устройств для зимнего максимума и летнего минимума модели исходя из критерия минимума общесистемных потерь мощности. Также определялся максимальный эффект от регулирования параметров режима энергосистемы. Сформирован вывод об эффективности использования различных устройств компенсации.

Результаты данного исследования могут быть использованы для классификации подстанций ПАО «ФСК ЕЭС» с точки зрения наличия устройств влияния на общесистемную энергоэффективность, а также при разработке и переработке стандартов организации [3] по выбору типа устанавливаемых устройств компенсации реактивной мощности на подстанциях 220–750 кВ.

Литература

1. М. А. Брянцев, Б. И. Базылев, А. И. Лурье, Д. Ю. Спиридонов. Результаты внедрения управляемых подмагничиванием шунтирующих реакторов в сетях 110–500 кВ // Электро, № 3. 2006.
2. СТО 56947007-29.240.019-2009 Методика оценки технико-экономической эффективности применения устройств FACTS в ЕНЭС России.
3. СТО 56947007-29.180.02.140-2012 Методические указания по проведению расчетов для выбора типа, параметров и мест установки устройств компенсации реактивной мощности в ЕНЭС.

Секция 52

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Председатель секции — к.т.н., доцент Г.В. Шведов

Секретарь секции — к.т.н., доцент С.А. Фахриева

А. Н. Алимова, студент; рук. Е. И. Грачева, д.т.н., проф. (КГЭУ, Казань)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Представлен анализ некоторых методов расчета потерь электроэнергии с выявлением основных достоинств и недостатков, присущих каждому из методов расчета потерь электроэнергии в системах электроснабжения. Предложена классификация основных детерминированных и вероятностно-статистических методов оценки потерь электроэнергии.

Цель анализа состоит в выявлении основных достоинств и недостатков некоторых методов определения потерь электроэнергии в сетях промышленного электроснабжения, а также в классификации данных методов в зависимости от объема исходной информации и режима ее получения.

Задачей исследования является сравнительный анализ методов определения потерь электроэнергии, составление их классификации, выдача рекомендаций по применению тех или иных методов расчета, а также определение области применения рассмотренных методов определения потерь электроэнергии в зависимости от исходной информации, принятых допущений и возможных ожидаемых погрешности расчета.

Классификация:

1. Детерминированные методы (поэлементного расчета; по времени наибольших потерь τ ; средних нагрузок; характерных суток; расчета по обобщенным параметрам сети);
2. Вероятностно-статистические методы (регрессионного анализа; корреляционной связи; случайной выборки).

Области применения и некоторые особенности методов расчета.

1. В зависимости от используемой для расчета информации можно выделить среди детерминированных методов методы расчета по времени потерь, эквивалентирования и методы, основанные на поэлементном расчете сетей. Каждый из этих методов имеет свою область применения и точность расчета.
2. Методы по времени потерь требует много исходных данных.
3. Методы эквивалентирования имеют погрешности при «сворачивании» схемы сети.
4. Методы поэлементного расчета дают высокую точность расчетов и могут использоваться в качестве эталонных методов, но для их практического применения требуется много исходной информации, что возможно только на базе современных информационных технологий.

*А. Н. Алимова, студент;
рук. Е. И. Грачева, д.т.н., проф. (КГЭУ, Казань)*

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ НИЗКОГО НАПЯЖЕНИЯ

При расчете потерь электроэнергии в линиях низковольтных сетей необходимо учитывать влияние следующих факторов: температуры окружающей среды; сопротивления контактных соединений коммутационных аппаратов и их число, так как линии цеховых сетей имеют большое количество последовательных узлов с контактными соединениями и сопротивление аппарата оказывается пропорционально сопротивлению линии; вид графика нагрузки. Отсутствие подлинной информации о параметрах электрооборудования сетей низкого напряжения и не учет вышеуказанных факторов приводит к погрешности от 5 до 80% при расчете потерь электроэнергии.

В результате исследования было показано, что с увеличением температуры окружающей среды потери электроэнергии растут. Погрешность расчета потерь электроэнергии, обусловленная неучетом температуры окружающей среды, составляет от 4,5 до 10% поэтому в расчетах необходимо указать фактор влияния температуры окружающей среды. По расчетам выявлено, что неучет сопротивлений контактных соединений коммутационных аппаратов дает большие погрешности при определении потерь электроэнергии — до 80%.

Оценка влияния вида графика нагрузки на результаты определения потерь электроэнергии определяется через суточные графики нагрузки, которые характеризуются коэффициентом формы (Кф). Вычисления показали, что погрешность от неучета формы графика нагрузки при определении потерь ЭЭ лежит в пределах 10%.

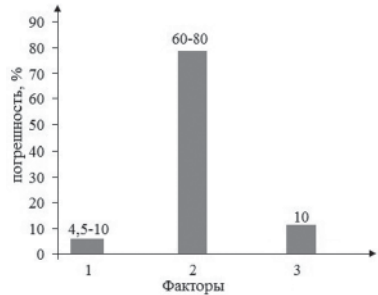


Рис. 1. Результаты оценки погрешностей от неучета основных факторов: 1 — неучет температуры окружающей среды; 2 — неучет сопротивлений коммутационных аппаратов; 3 — неучет вида графика нагрузки

*А. С. Амирхонов соискатель, М. М. Камолов докторант Ph. D.;
рук. Х. Б. Назиров, к. т. н. ст. преп., консультант
Исмоилов С. Т. к. т. н. ст. преп.
(ТТУ им. акад. М. С. Осими, Душанбе)*

ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МАГИСТРАЛЬНОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 0,4 кВ ГОРОДА ДУШАНБЕ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СОЛНЕЧНОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ

В статье рассматриваются режимы работы магистральной линии электропередачи 0,4 кВ города Душанбе Республики Таджикистан с распределенной солнечной генерацией (см. рис. 1.) Рассматриваются вариации трех режимов в зависимости от установки распределенной солнечной генерации в начале, середине и в конце воздушной линии электропередачи (ВЛЭП).

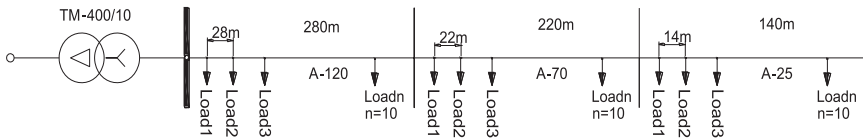


Рис. 1. Магистральная ВЛЭП с подключенной солнечной генерацией

Использование солнечных домов в целом снижает потери активной и реактивной мощности и увеличивает значения напряжения в узлах, где они подключаются. Оптимальное распределение солнечной генерации по узлам влияет на снижение активной мощности. В первом случае относительные потери мощности составили 14,08%, во втором случае 2,95% и в третьем случае 2,34%. Потери мощности при установке солнечных домов в конце линии снижается на 7,6% относительно потери при первом случае. После оптимизации суммарные потери активной мощности снижаются на 6,3% относительно первого случая. При расположении солнечной генерации в конце магистральной линии падение напряжения увеличивается в середине линии, что ухудшает значения медленного изменения напряжения в этих точках. При подключении солнечной генерации необходимо настроить предел регулирования напряжения сетевых инверторов для равномерного распределения напряжения вдоль магистрали. Необходимо разрабатывать методику оптимизации по активной мощности сетей 0,4 кВ с солнечной генерацией.

Литература

1. Шохзода Б., Назиров Х. Б., Каримов Д. Х., Маджидов А. Ш. Энергоснабжение сотовой базовой станции за счет солнечной энергии. Вестник Таджикского технического университета. 2015. № 4 (32). С. 57–61.

D. V. Dvorkin, researcher; supervisor V. N. Tulskey, PhD. (NRI «MPEI»)

PRACTICAL USELESS OF METHODS OF CONSUMER ACTUAL IMPACT ESTIMATION INTO POWER QUALITY DISTORIONS AT THE POINT OF COMMON COUPLING

Being repeatedly mentioned in the awesome numerous of articles the problem of consumer actual influence estimation in case of power quality is still not solved [1]. Russian and European scientific magazines publish different articles presenting various methods focusing on this task solving. Having a multitude of citations those labors have been checked by the Popper's principle of verification. The current result of this analysis shows that a part of the proposed methods is completely inoperable in practice because of some mistakes in its origins.

It is getting obviously with the consideration of attic Norton scheme (Fig. 1) which may present any substation as a set of Electric Motive Forces (EMF) and equivalent impedances of the consumers and the foreign utility around the point of common coupling (PCC) for the frequency of the observed distortion.

For any i^{th} branch of this scheme it is possible to present its current as:

$$\bar{I}_i = (\bar{E}_i - \bar{U}_{PCC}) / \bar{Z}_i. \quad (1)$$

At the moment at least 3 following approaches from the reference list of [1] do not meet the indisputable require of (1):

- 1) Estimation of distortion conductivity.
- 2) Distortion Power balance analysis
- 3) Sequential shutdown method.

To verify those aforementioned methods correctly and easily the set of models has been created. In order to make sure that these models work properly, meet the requirement of the classical postulates of Network analysis in the context of electrical circuits they also have been verified and the results of this verification has been published in [2] prior this thesis.

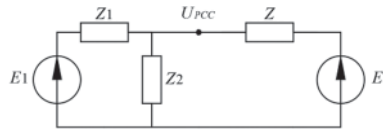


Fig. 1. Equivalent electrical scheme of substation. U_{PCC} — voltage at the PCC, E_1 — considering nonlinear load EMF, E — EMF of the foreign utility and balanced load, Z_1 — considering nonlinear load impedance, Z_2 — linear load impedance, Z — utility impedance

References

1. **D. V. Dvorkin, M. A. Silaev, V.N. Tulskey, S. Palis.** Problems of the Estimation of the Consumer's Contribution to the Power Quality Distortion in the Point of Common Coupling. — *Elektrichestvo (Electricity)*, 2017, № 7, pp. 12–19.
2. **I. S. Metelev, D. V. Dvorkin, R. G. Isakov.** Different load type modeling using Matlab. — *IOP Conf. Series: Material science and Engineering*, 2017, vol. 240, pp. 1–8.

*М. М. Камолов докторант. PhD., А. М. Амирхонов соискатель;
рук. Х. Б. Назиров, к.т.н.ст.преп., консультант
Исмоилов С. Т. к.т.н.ст.преп.
(ТТУ им. акад. М. С. Осими, Душанбе)*

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ СОВРЕМЕННЫХ БЫТОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ ПО КАЧЕСТВУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

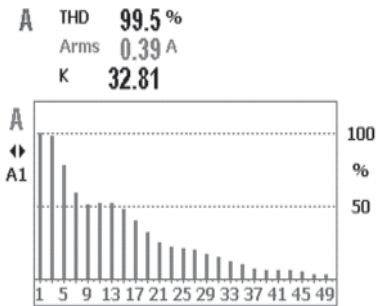


Рис. 1. Спектр гармоники светодиодного прожектора

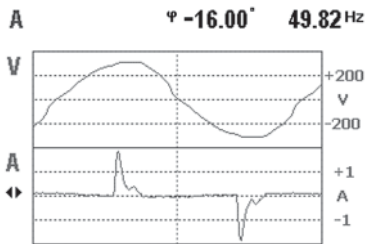


Рис. 2. Синусоида напряжения и токов светодиодного прожектора

В работе был произведен эксперимент по оценке электромагнитной совместимости таких офисных электроприемников, как монитор, проектор, принтер, лампы накаливания, натриевые лампы высокого давления, энергосберегающие лампы, светодиодные лампы различной мощности и люминесцентные лампы с помощью средства измерения показателей качества электроэнергии FLUKE 1735.

Цель эксперимента заключалась в следующем: оценка влияния отклонения напряжения на режим работы различных видов осветительных ламп; получение зависимости от изменения напряжения и светового потока лампы; получение зависимости динамического изменения тока от напряжения; измерение токов эмиссии высших гармоник современных офисных электроприемников.

Полученные результаты показывают, что освещенность светодиодных, энергосберегающих ламп практически не зависит от изменения напряжения.

Светодиодные лампы большой мощности имеют обратную корреляционную зависимость между изменением напряжения и токов за счет использования в электронных схемах электромагнитных трансформаторов.

Для современных офисных электроприемников в электронных схемах не используют индивидуальных фильтров для компенсации токов высших гармоник.

Литература

1. **Х. Б. Назиров, С. Р. Чоршанбиев, П. А. Юнусов,** Оценка влияния современных электроприемников бытового сектора на качество электроэнергии // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2016. Т. 1. № 1 (33). С. 12–19.

Е. М. Кулаков, студ.; рук. В. Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОИСК МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ВОЗДУШНЫХ СЕТЯХ 10 КВ С ПОМОЩЬЮ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Сети 6–10 кВ относятся к классу распределительных сетей, которые осуществляют электроснабжение городов, сельских районов, промышленных предприятий с незначительной нагрузкой. По данным многолетних наблюдений известно, что сети 6–10 кВ одни из наиболее слабых звеньев в энергосистеме, самым частым видом повреждения которых (около 70%) является однофазное замыкание на землю [1].

Поиск мест повреждений при однофазном замыкании в воздушных сетях 6–10 кВ затруднен из-за отсутствия эффективных дистанционных методов поиска. Традиционные методы на сегодняшний день устарели. Их применение отягощено большими трудозатратами, опасностью для оперативного персонала. Поиск места однофазного замыкания топографическими методами не может гарантировать точное время нахождения повреждения [2].

Развитие средств коммерческого учета, работы в области контроля и мониторинга параметров сети, представляют новые возможности в области поиска мест повреждений.

В данной работе исследуется возможность применения мониторинга качества электроэнергии на стороне 0,38 кВ для поиска и сигнализации однофазных замыканий на землю в сетях 10 кВ. Для этого в программной среде Matlab Simulink была смоделирована сеть 10 кВ. Устройства измерения были установлены на головном участке линии и на низкой стороне трансформаторов 10/0,38 кВ. При моделировании однофазного замыкания на землю на головном участке линии 10 кВ были получены осциллограммы токов и напряжений. Был проведен анализ гармонических составляющих напряжений на стороне 0,38 кВ.

Полученные результаты говорят о наблюдаемости однофазного замыкания на землю в сетях 10 кВ на стороне 0,38 кВ трансформатора, возможности организовать поиск мест повреждений с помощью анализа осциллограмм.

Литература

1. **И. Г. Барг** Техническое состояние и надежность работы воздушных распределительных сетей 0,38–10 кВ // Энергетик. 1999. — № 8. С. 16–18.
2. **Г. М. Шалыт** Определение мест повреждений в электрических сетях М.: Энергоиздат, 1982.

*Д. В. Курганов, Ю. В. Обухова, студенты, А. В. Обухова к.т.н., доц.
(СамГТУ, Самара)*

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Критерий оптимальности при выборе системы электроснабжения промышленного предприятия (СЭС) — наименьшие расчетные (приведенные) затраты на сеть, которые складываются из расчетных (приведенных) затрат на каждый элемент сети (ЭС). Для описания затрат на ЭС обычно используются нелинейные математические модели (ММ).

В докладе предлагается оригинальный метод линеаризации таких ММ, при котором погрешность не превышает 5%. С целью линеаризации делаются допущения о непрерывности шкал сечений токопроводящих жил, номинальных токов, установок электроаппаратов и о линейности зависимости капиталовложений от сечений проводников и электроаппаратов.

Оптимизация с применением традиционных методов математики на основе целевой функции, сложна, поэтому в предлагаемой системе автоматизированного проектирования оптимизация ведется в режиме диалога с пользователем.

При оптимизации СЭС промпредприятий были применены ММ учитывающие:

- капитальные затраты на распределительные шкафы;
- капитальные затраты на комплектные шинопроводы;
- капитальные и расчетные затраты на комплектные трансформаторные подстанции (КТП);
- капитальные и расчетные затраты на конденсаторные батареи (КБ)
- капитальные и расчетные затраты на линию электропередач (ЛЭП);
- капитальные и расчетные затрат на выработку реактивной мощности на электростанции и ее передачу по сети энергосистемы.

Распределительная СЭС представлена в виде совокупности типовых узлов нагрузки, соединенных ЛЭП. Для каждого типового узла расчетные затраты состоят из: затраты на конденсаторные батареи ($З_{ВКБ}+З_{НКБ}$), затраты на ЛЭП ($З_{ли}$), питающую узел, затраты на выработку и передачу реактивной мощности с использованием синхронных двигателей ($З_{сд}$). Таким образом затраты по типовому i -му узлу:

$$З_{yi}=З_{ВКБ}+З_{НКБ}+З_{ли}+З_{сд}+З_{ТГ}.$$

Благодаря этим ММ можно значительно сократить вычислительные ресурсы на оптимизацию электросети, так например, при расчете СЭС, питающейся от трансформатора ГПП, представленной в виде шести узлов (шины ГПП, РП, разветвленные магистральные линии), объем оперативной памяти не более 180 КБайт, время расчета 10 минут.

*И. И. Кулаев, М. Р. Лукьянов, студенты;
рук. В. М. Дашков, к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)*

АНАЛИЗ НОРМАТИВОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ КОММУНАЛЬНОЙ УСЛУГИ ПО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЮ В САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

В последние годы появилось много публикаций посвященных проблеме перекрестного субсидирования. Одним из путей решения проблемы перекрестного субсидирования является введение социальных норм (СН) потребления электрической энергии (мощности).

Приказом Министерства энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Самарской области от 30.06.2016 г. № 139 утверждены новые нормативы.

Цель работы — анализ фактического потребления электроэнергии населением Самарской области и сравнение его с нормативом потребления коммунальной услуги по электроснабжению, принятым в 2016 г.

Для достижения цели проведена работа по сбору данных фактического потребления электроэнергии (ЭЭ) различными группами населения, которые имеются в приказе о социальной норме (СН).

Сравнение СН, утвержденной в 2016 г., с нормативом, принятым в 2012 г., свидетельствует о ее заниженной величине. Например, социальная норма для двух человек, проживающих в 2-комнатной квартире, не оборудованной стационарной электроплитой, уменьшилась на 6,82% (с 176 до 164 кВт×ч); социальная норма для двух человек, проживающих в 2-комнатной квартире, оборудованной стационарной электроплитой, уменьшилась на 22,2% (с 234 до 182 кВт×ч).

На основе анализа статистических данных о фактическом потреблении ЭЭ нескольких групп домохозяйств установлено следующее:

- в жилых помещениях многоквартирных домов и жилах домах, не оборудованных в установленном порядке электроплитами, потребление ЭЭ сверх норматива наблюдается лишь 2–3 месяца в году;
- в жилых помещениях многоквартирных домов и жилах домах, оборудованных в установленном порядке электроплитами, потребление ЭЭ сверх норматива происходит в большинстве месяцев года.

Одной из причин фактического потребления ЭЭ сверх социальной нормы в отдельные периоды является нарушение подачи тепла на отопление и горячего водоснабжения. Как правило, данная проблема наблюдается в начале отопительного сезона.

Например, в период с 30.09.2017 до 3.10.2017 было прекращено горячее водоснабжение во многих жилых домах из районов г. Самары.

*О. А. Насырова, аспирант;
рук. В. Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ ВНОСЯЩИХ ИСКАЖЕНИЕ В ФОРМУ КРИВОЙ НАПРЯЖЕНИЯ

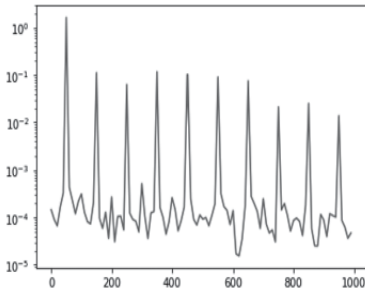


Рис. 1. Амплитудно-частотный спектр исходного сигнала

В последнее время участились жалобы со стороны потребителей на качество поставляемой электроэнергии [1]. В связи с этим, актуальна задача оценки степени участия электроприемников в искажении синусоидальности кривой напряжения. Для решения данной задачи необходимо разработать алгоритм определения состава электроприемников вносящих искажение в форму кривой напряжения на каждом присоединении с заданной точностью.

Алгоритм определения состава электроприемников:

1. Измерение мгновенного значения тока каждой фазы на каждом присоединении.
2. Преобразование мгновенного значения тока в цифровой сигнал. Получение частотного спектра сигнала.
3. Проведение спектрального анализа сигнала. Выделение количества гармоник в составе сигнала. При этом по каждой гармонике определяются: амплитуда, частота и фаза. Определение наличия или отсутствия белого шума.
4. Моделирование исходного спектра искажения сигнала путем подбора и композиции спектров сигналов единичных электроприемников.
5. Определение состава электроприемников, вносящих искажения в рассматриваемый сигнал с заданной точностью.

Для примера на рис. 1 приведен амплитудно-частотный спектр сигнала (в логарифмических координатах), полученный при измерении гармоники потребляемого тока при включении светодиодной лампы в сеть.

Литература

1. <http://kuzbassnews.ru/news/kassaciya-podderzhala-reshenie-ufas-mrsk-sibiri-nezakonno-peredavala-elektrichestvo>.
2. **Карташев И. И., Тульский В. Н., Шамонов Р. Г., Шаров Ю. В., Насыров Р. Р.** Управление качеством электроэнергии. М.: Издательский дом МЭИ, 2017.
3. **Сергиенко А. Б.** Цифровая обработка сигналов. ЗАО Издательский дом «Питер», 2002.

*Н. Ф. Низамов, студ.;
рук. С. С. Бодрухина, к.т.н., доцент (МЭИ, Москва)*

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В Таджикистане перечень показателей качества электроэнергии (ПКЭ) и их нормирование регламентируются ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» [1].

Для оценки качества электрической энергии (КЭ) в электрических сетях Республики Таджикистан летом 2016 года был произведен инструментальный контроль КЭ на соответствие требованиям ГОСТ 32144-2013. Результаты измерений показали нарушение норм ПКЭ практически во всех точках измерения. Так верхняя граница отклонения частоты Δf достигает +0,8 Гц; зарегистрированы нарушения по $K_{U(n)}$ для следующих гармоник: $K_{U(11)}$ — до 3,1%, $K_{U(13)}$ — до 2,2%, $K_{U(23)}$ — до 1,6% и $K_{U(25)}$ — до 1,05%. Были зафиксированы провалы напряжения и колебания напряжения.

Одним из вариантов управления КЭ является создание системы мониторинга ПКЭ, которая даст возможность решить следующие задачи.

1. Формирование «карты КЭ» в электроэнергетической системе Таджикистана (ЭЭСТ) на основе непрерывных измерений с возможностью автоматического оформления результатов контроля и реализации перспективных мероприятий по обеспечению КЭ в ЭЭСТ.
2. Автоматизированное выявление нарушений требований нормативных документов к ПКЭ в сети.
3. Оценка влияния режимов работы оборудования на КЭ в сети.
4. Выявление причин пониженного КЭ и определение источников искажения и помех в сети.
5. Разработка и реализация оперативных мероприятий по нормированию КЭ за счет оптимизации эксплуатационного состояния и режимов работы оборудования.
6. Разработка технических мероприятий на этапе проектирования и ввода в эксплуатацию нового присоединения, ограничивающих его негативное влияние на КЭ в сети.

Исходя из вышеуказанного можно сказать, что мониторинг ПКЭ является наиболее актуальным и экономически целесообразным для решения задач по обеспечению КЭ.

Литература

1. **ГОСТ 32144-2013.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Стандартинформ, Москва 2014 г.

*М. М. Зуев, студ., К. А. Осинцев, асп.;
рук А. В. Шунтов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)*

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 20 КВ

В крупных городах страны вводятся в эксплуатацию электрические сети сравнительно новой для нас ступени напряжения 20 кВ. Преимущественно это кабельные сети. Воздушные сети 20 кВ имеют свою специфику и до сих пор имеют ограниченное применение [1]. Проведено сравнение технико-экономических показателей воздушных сетей 10 и 20 кВ. Они показали предпочтительность повсеместного применения напряжения 20 кВ. В качестве исходных данных при моделировании брался диапазон значений интегральных параметров сети. Они были полученные при обработке фрагментов (петлевых схем, опирающихся на два центра питания 110 кВ) 18 районов электрических сетей в пригороде одного из крупных городов европейской части страны (табл. 1).

Таблица 1

№ фрагмента	P_{\max}/P_{\min} кВт/кВт	$l_{\text{сум}}$ км	$\sigma_{\text{нг}}$ кВт/км ²	$\sigma_{1\text{ТП}}$ кВ·А/км ²	$\sigma_{2\text{ТП}}$ шт/км ²	$l_{\text{ТП}}$ км
1	3138/1642	40,7	129,1	483	2,0	0,85
2	4751/3168	52,4	154,3	507	2,1	0,82
3	7358/5816	74,1	154,3	396	1,8	0,85
4	3609/1929	70,1	83,2	285	1,6	0,99
5	6646/6072	87,6	157,3	559	2,6	0,80
...
13	1640/1102	64,6	39,8	189	1,4	1,13
14	1193/618	61,8	24,8	130	1,0	1,34
15	956/349	50,0	26,3	252	0,9	1,52
16	297/78	35,0	8,2	81	0,4	2,33
17	3023/1872	42,3	117,6	389	2,2	0,76
18	1484/796	107,0	21,7	171	1,0	1,57
Среднее	2879/1833	57,2	76,1	267	1,4	1,14

Принятые сокращения: P_{\max} и P_{\min} — наибольшая нагрузка зимнего и летнего дня по результатам замеров 2016 г.; $l_{\text{сум}}$ — суммарная протяженность ВЛ фрагмента сети; $\sigma_{\text{нг}}$ — плотность нагрузки; $\sigma_{1\text{ТП}}$ — плотность мощности трансформаторных подстанций (ТП) 10/0,4 кВ; $\sigma_{2\text{ТП}}$ — плотность трансформаторных подстанций (ТП) 10/0,4 кВ; $l_{\text{ТП}}$ — среднее расстояние между ТП.

Литература

1. Майоров А. В., Шунтов А. В., Осинцев К. А. Особенности построения воздушных электрических сетей 20 кВ с низкоомным резистивным заземлением нейтрали // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение. 2017. № 5 (44).

*А. А. Суница, Н. С. Минаков, магистры.;
рук. В. М. Дашков, к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)*

ВЛИЯНИЕ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ПОТЕРЮ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Во многих работах, посвященных вопросам применения компенсирующих устройств (КУ) в системах электроснабжения (СЭС) различных объектов, отмечается, что за счет установки КУ значительно уменьшаются потери напряжения в элементах сети.

В некоторых работах приводятся конкретные данные и примеры о величине сэкономленной электроэнергии за счет установки КУ. Конкретных примеров по определению величины изменения напряжения в результате применения КУ в сетях 6–10 кВ и 0,4 кВ авторам найти не удалось.

Цель работы — определить изменение потери напряжения в проводниках 0,4, 6 и 10 кВ и в силовых трансформаторах при установке в СЭС компенсирующих устройств.

Расчеты выполнены для нескольких объектов с разными мощностями силовых трансформаторов, с разными значениями коэффициента мощности $\cos \varphi$. Мощность конденсаторных батарей выбиралась с учетом обеспечения нормируемых значений $\cos\varphi=0,93-0,95$.

Приведем результаты расчетов по некоторым объектам:

- в СЭС, состоящей из кабельной линии 10 кВ АСБ 3х120 длиной 1,1 км., силового трансформатора ТМЗ — 400 — 10/4, активной мощности потребителей — 170 кВт и $\cos\varphi = 0,68$, до применения КУ полная потеря напряжения составляет 6,387 В. После установки КУ и $\cos\varphi = 0,946$ полная потеря напряжения составляет 5,344 В;
- в СЭС, состоящей из кабельной линии 10 кВ ААШВ 3х120 длиной 0,5 км, силового трансформатора ТМЗ — 1000 — 10/4, активной мощности потребителей 600 кВт и $\cos\varphi = 0,8$, до применения КУ полная потеря напряжения составляет 9,454 В. После установки КУ и $\cos\varphi = 0,95$ полная потеря напряжения составляет 8,484 В;
- для участка сети 0,4 кВ длиной 120 м от РУ 0,4 кВ подстанции до асинхронного электродвигателя ($P= 37$ кВт, $\cos\varphi = 0,64$, $\eta = 0,88$, $U_n = 0,38$), выполненного кабелем ВВГнг — 4х16, после установки КУ и $\cos\varphi = 0,94$ полная потеря напряжения составляет 13,684 В.

Вывод. Применение компенсирующих устройств в системах электроснабжения 6–10 кВ и 0,4 кВ приводит к снижению потерь электроэнергии, но практически не приводит к изменению напряжения на зажимах электроприемников.

Е. А. Волкова, асп.;
рук. Т. Б. Лещинская, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА РАЗВИТИЯ И ОЧЕРЕДНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 6–10 КВ ПО МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ

Решение задачи повышения эффективности функционирования электросетевого комплекса страны целесообразно начать с модернизации распределительных сетей районов с малой плотностью нагрузок, которым характерны наибольшие в процентном соотношении уровень потерь электроэнергии (с учетом коммерческой составляющей до 40% от суммарных потерь по стране), неудовлетворительные показатели надежности электроснабжения. Среди основных причин: изношенность установленного оборудования (>40%), его несоответствие существующим нагрузкам, использование устаревших видов оборудования. Такие сети сооружались в условиях экономии капитальных затрат, им свойственна большая протяженность (более 3 млн км), разветвленность линий электропередач (ЛЭП), отсутствие полной информации о нагрузках.

В работе задача выбора оптимальной стратегии развития сети, решается в многокритериальной постановке [1] с учетом требований по качеству электроэнергии, надежности электроснабжения, экономичности функционирования в условиях неопределенности информации о перспективных электрических нагрузках. Ранжирование сетей по очередности реконструкции производится по мультипликативному оценочному функционалу (F).

В качестве частных критериев приняты: потери электроэнергии, максимальные потери напряжения в воздушных линиях (ВЛ) 6 кВ, интегральный недоотпуск электроэнергии из-за вероятных отказов элементов СЭС, суммарные дисконтированные затраты. Рассмотрены варианты преобразования сети: разукрупнение ВЛ 6 кВ и перевод сети на $U_{\text{ном}} = 10$ кВ с изменением номинальной мощности трансформаторов. Посредством сбора и обработки дополнительной статистической информации снята неопределенность исходной информации и получено распределение вероятностей состояния среды за расчетный период ($T_p = 10$ лет).

В ходе имитационного моделирования сети и вариантов ее развития в программном комплексе РТП-3 получены значения частных критериев в условиях роста нагрузки, определена оптимальная стратегия развития сети. Получены целесообразные $k_{\text{загр}}$ трансформаторов при переводе распределительных сетей 6 кВ на более высокое номинальное напряжение.

Литература

1. **Лещинская Т. Б.** Многокритериальная оценка технико-экономического состояния распределительных электрических сетей. М.: МИЭЭ, 2015.

Д. А. Воронков, Е. М. Мясникова, студенты; рук. Г. В. Шведов, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ)

ВЛИЯНИЕ ПОСУДОМОЕЧНОЙ МАШИНЫ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ДОМОХОЗЯЙСТВАМИ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

В современной квартире находится множество разнообразных бытовых электроприборов, и их количество с каждым годом только увеличивается. Однако мало кто задумывается над тем, как тот или иной электроприбор влияет на потребление домохозяйствами ресурсов, в частности таких как электроэнергия, холодная и горячая вода. Одним из бытовых электроприборов, оказывающих значительное влияние на потребление электроэнергии и воды, является посудомоечная машина (ПМ). Согласно данным Росстата за последнее

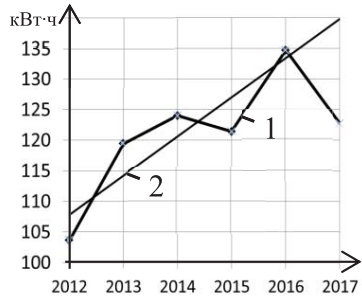


Рис. 1.

десятилетие степень насыщенности домохозяйств ПМ характеризуется одним из самых больших приростов. Поэтому изучение влияния ПМ на потребление ресурсов является актуальной задачей на сегодняшний день.

Люди используют ПМ в быту уже давно, так как она позволяет повысить уровень комфорта жизни. В данной работе исследуется, как использование данного электроприемника влияет на суммарное потребление домохозяйствами электроэнергии и воды. С одной стороны, ПМ потребляет эти ресурсы, с другой — используя ПМ, человек не расходует воду на мытье посуды и электроэнергию в темное время суток на освещении кухни во время мытья посуды. Кроме того, используя функцию отложенного старта, возможно снижение оплаты за потребленную ПМ электроэнергию за счет более низких тарифов на электроэнергию в ночное время.

Для решения поставленной задачи было выбрано домохозяйство, в котором с 1 января 2017 года была установлена ПМ. Были обработаны ежемесячные показания счетчиков электроэнергии (двухзонный: день/ночь), холодной и горячей воды, установленных на вводе домохозяйства за период с 2012 по 2017 год. Были построены зависимости среднемесячного потребления ресурсов по годам (1 на рис. 1). По результатам обработки статистических данных за 2012–2016 гг. были построены аппроксимирующие зависимости (2 на рис. 1), продление которых до 2017 г. позволило спрогнозировать величину потребляемых ресурсов при условии отсутствия ПМ. Сопоставление прогнозных значений на 2017 г. (при условии отсутствия ПМ) и фактических значений за 2017 г. (при наличии ПМ) показывает увеличение или уменьшение величины потребляемых ресурсов.

В результате оценено изменение среднемесячных значений потребляемых ресурсов домохозяйством при использовании ПМ.

А. И. Зиганшина, студ.;
рук. Н. В. Роженцова, к. т. н., доц. (КГЭУ, Казань)

СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

Анализ аварий в энергетической системе России показал, что наименее надежным элементом энергосистемы являются воздушные линии (ВЛ) [1]. Наиболее распространенные повреждения на ВЛ — однофазные замыкания на землю (ОЗЗ). Для решения данной проблемы предлагается система диагностики ОЗЗ в распределительных сетях 6–10–35 кВ.

Разработанная уникальная система позволит локализовать поврежденный участок воздушной линии электропередачи со сложной схемой с более высокой точностью. В сетях 6–10–35 кВ источником информации о наличии ОЗЗ возможно рассматривать появление высших гармонических составляющих в спектре токов и напряжений. Посредством быстрого преобразования Фурье и анализа выделяемого номера и амплитуды высшей гармонической составляющей напряжения возможно связать их параметры с удаленностью места ОЗЗ.

Преимуществом предлагаемого решения является локализация поврежденного участка воздушной линии электропередачи с более высокой точностью. Отсутствие необходимости дополнительной установки трансформаторов напряжения и тока, которые приводят погрешностям измерения и являются дорогостоящими. Есть перспектива интеграции с сетями Smart Grid.

Предлагаемый метод нахождения позволит локализовать отпайку и участок на ней. Зная частотные характеристик любых распределительных электрических сетей, можно с требуемой точностью определить участок ОЗЗ, сократить необходимый объем работ по его локализации. Разработанная система защищена российским патентом РФ № 160906 RU МПК G01R 31/08 [2].

Литература

1. **Шилина А. Н.** Замыкания на землю в сетях 6–35 кВ. Случаи неправильных действий защиты // *Новости Электротехники*. — 2005. — № 2 (32).
2. Патент на полезную модель РФ № 160906 RU МПК G01R 31/08. / Федотов А.И., Абдуллазянов Р.Э., Вагапов Г.В., Зиганшина А.И. / Устройство для диагностики однофазных замыканий на землю на воздушных линиях в распределительных электрических сетях с изолированным режимом работы нейтрали напряжением 6–10–35 кВ // заявле-но: 27.10.2015 / Опубликовано: 10.04.2016. Бюл. № 10.

Секция 53 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Председатель секции — зав. каф. Электрических станций, к.т.н.,
доцент Ю.П. Гусев

Секретарь секции — аспирант А.Д. Купчинов

А. В. Овечкин, студ. А. Д. Купчинов, асп.;
рук. Ю. П. Гусев, к.т.н., доц (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТОКА ПОДПИТКИ ОТ ВЫПРЯМИТЕЛЯ НА СУММАРНЫЙ ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Неучет подпитки суммарного тока короткого замыкания (КЗ) от зарядного устройства (ЗУ) или же неправильная его оценка приводят к неверной настройке регуляторов выпрямителей и, вследствие этого, некорректной его работе в ряде случаев. Примером является авария на АЭС США Palisades, отраженная в [1]. В связи с этим исследование влияния подпитки тока КЗ от ЗУ является актуальной задачей при проектировании систем оперативного постоянного тока (СОПТ).

Цель работы — оценка влияния тока подпитки от выпрямителя на суммарный ток КЗ в СОПТ. Для реализации данной цели были произведены расчеты токов КЗ при питании СОПТ от ряда ЗУ, имеющих разную мощность и емкость конденсаторов фильтров, и аккумуляторных батарей (АБ) согласно [2], а также расчеты интеграла Джоуля при времени срабатывания защиты, равному 0.1 с. Расчетная схема представлена на рис. 1. Точка КЗ располагается на щите постоянного тока.

Результаты показали, что пиковое значение тока КЗ с учетом выпрямителя на 400А и без него отличаются в 1,22 раза, значения интеграла Джоуля — в 1,4 раза. Выявлено, что влияние выпрямителя тем больше, чем больше его номинальный ток, соответственно в СОПТ, имеющих мощные ЗУ, неучет подпитки тока КЗ от выпрямителя является грубым допущением и чреват занижением параметров цепи по критерию термической стойкости, и неверным выбором защитных аппаратов и проводников.

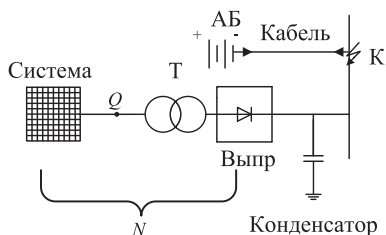


Рис. 1. Расчетная схема участка СОПТ

Литература

1. Bill Gunther Evaluation of battery and battery charger short-circuit current contributions to a fault on the DC distribution system at a nuclear power plant BNL Technical Report.
2. IEC 61660-1:1997 Short-circuit currents in d. c. auxiliary installations in power plants and substations — Part 1: Calculation of short-circuit currents.

М. С. Абдулкеримов, студ.;
рук. В. В. Жуков, д.т.н., профессор (НИУ«МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ СОЗДАНИЯ ОБЪЕКТОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Реформирование российской энергетики и износ оборудования сетей привели к тому, что многие промышленные предприятия стремятся стать независимыми от централизованного электроснабжения и создают у себя отдельные источники электроснабжения в виде собственных внутризаводских электростанций [1]. В этой связи актуальной становится проблема разработки алгоритма обоснования создания объектов распределенной генерации. Алгоритм предусматривает определенные этапы реализации бизнес-проекта создания нового источника. Основные этапы алгоритма включают: выбор стратегии развития бизнеса создания новой генерации; процедуры инженерных маркетинговых исследований с учетом рыночного окружения и ценового фона по электрической и тепловой энергии; анализ спроса на электрическую и тепловую энергию; определение вариантов модели предложения в зависимости от типа ЭС; проведение SWOT-анализа (вариантов); определение установленной мощности ЭС и единичной мощности энергоблоков; анализ существующей системы электроснабжения предприятия, в котором предполагается создание ЭС; разработка вариантов схем выдачи мощности ЭС, координация уровней ТКЗ в новой системе электроснабжения, оценка новых экономических показателей энергообъекта. В работе в качестве объекта исследования рассматривается пример расчета технических и экономических последствий для газоперерабатывающего предприятия, строительство собственной электростанции, на которой будет установлено четыре энергоблока ГТУ, мощностью 27,5 МВт каждый. Предполагается создание необходимой базы данных и выполнение расчетов по всем этапам реализации бизнес-проекта. При этом основное внимание уделено разработке вариантов схем ГТУ-ТЭЦ, способам координации уровней ТКЗ с учетом их изменения в схеме электроснабжения предприятия.

Литература

1. **Осика Л. К.** Инжиниринг объектов интеллектуальной энергетической системы. Проектирование. Строительство. Бизнес и управление: практическое пособие — М.: Издательский дом МЭИ, 2014. — 780 с.: ил.

Д. А. Барышников, студ.;
рук. В. В. Жуков, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КООРДИНАЦИЯ УРОВНЕЙ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ

На сегодняшний день последствия реформирования энергетики и износ электрооборудования привели к стремлению промышленных предприятий к созданию собственных источников электрической и тепловой энергии, в системе распределенной генерации. Процесс ухода потребителей от централизованного энергоснабжения является общемировой тенденцией.

При проектировании таких источников, актуальной проблемой является выбор типа источника электроэнергии, например, среди газотурбинных (ГТУ), газопоршневых (ГПУ) и дизель-генераторных установок (ДГУ), а также проблема координации уровней токов короткого замыкания (ТКЗ) во вновь созданной системе электроснабжения предприятия.

В работе для условий малой генерации рассмотрены достоинства и недостатки различных типов источников электрической и тепловой энергии, а именно: ГТУ, ГПУ и ДГУ. Разработана практическая методика определения мощности генерации в зависимости от результирующего ТКЗ [1]. Для ряда мощностей ГТУ (от 2,5 до 25 МВт) разработаны расчетные кривые определения мощности источника генерации с учетом способов координации ТКЗ, с параметрами установленного оборудования в схеме электроснабжения потребителя в узле распределенной генерации. В качестве примеров показаны расчетные этапы реализации способов координации ТКЗ при создании собственной генерации на газоперерабатывающем (установка ГТУ) и металлургическом (установка ГПУ) промышленных комплексах [2].

Использование собственного источника на газоперерабатывающем, металлургическом комплексе обеспечивает бесперебойное питание предприятия, тем самым обеспечивая наименьшие издержки при потере питания со стороны энергосистемы.

Литература

1. **Жуков В. В.** Электрическая часть электростанций с газотурбинными и парогазовыми установками: учебное пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2015.
2. **Жуков В. В.** Бизнес-планирование в электроэнергетике: учебное пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2011.

*Н. С. Бурбенцов, В. С. Новиков, студенты;
рук. Н. Н. Смотров, асп. (НИУ «МЭИ»)*

ОБОСНОВАНИЕ МЕСТА УСТАНОВКИ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА РЕЗЕРВА НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЕВ НАДЕЖНОСТИ

С момента создания электрических сетей остро стоит вопрос обеспечения надежности электроснабжения потребителей. Данная исследовательская работа посвящена вопросам надежности в сетях среднего напряжения 6 (10) кВ. Согласно, [1], 32% кабельного хозяйства распределительных сетей 6 (10) кВ не обеспечивает пропускную способность в ремонтном режиме. При этом доля распределительных пунктов, имеющих недостаточное резервирование по причине отсутствия дополнительных распределительных и соединительных пунктов, составляет 43%.

Для повышения надежности электроснабжения требуется не только глубокая модернизация уже имеющихся средств резервирования выдачи мощности потребителю, но и применение технически и теоретически обоснованных схемных решений, выбор которых должен быть основан на критериях надежности.

На текущий момент для сокращения времени отключения потребителей в распределительных сетях 6 (10) кВ на трансформаторных подстанциях (ТП) и в конечных пунктах потребления электроэнергии широко применяется устройство автоматического ввода резерва (АВР).

Возникает необходимость в количественной оценке надежности схем с использованием устройства АВР как с помощью разработанных ранее критериев оценки надежности (такие как эквивалентное время отключения и недоотпуск электроэнергии), так и с помощью их зарубежных аналогов, таких как SAIDI и SAIFI, [2]. Расчеты надежности проводились согласно стандарту [2] в программном комплексе NEPLAN.

В ходе исследования была получена зависимость надежности электроснабжения потребителя от места установки устройства АВР на ТП.

Было выявлено, что установка АВР на стороне 0,4 кВ снижает параметр SAIDI на 30%, а параметр SAIFI на 17% по сравнению с установкой АВР на стороне 6 (10) кВ.

Литература

1. **Постановление правительства Москвы № 1067-ПП** «О Схеме электроснабжения города Москвы на период до 2020 года (распределительные сети напряжением 6–10–20 кВ)».
2. **IEEE Standard 1366-1998**, «IEEE trial-use guide for electric power distribution reliability indices», April 1999.

А. К. Гуляева, студ.; рук. А. П. Долин, к.т.н., доц. (НИУ«МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЖЕСТКОЙ ОШИНОВКИ

В открытых распределительных устройствах (ОРУ) напряжением от 110 кВ и выше в настоящее время наряду с гибкой ошиновкой все шире используются конструкции с жесткими шинами. При этом зачастую применяются конструкции с большим запасом по нагрузочной способности, термической, электродинамической и ветровой стойкости.

В работе была поставлена задача определения оптимальных параметров шинных конструкций с учетом требований, установленных в [1], [2] и других стандартах.

Расчеты проводились с помощью программного комплекса BUSCAD, который позволяет проводить расчеты нагрева ошиновки в рабочих режимах, термической стойкости, электродинамической и ветровой стойкости, прогибу шин от собственного веса, а также собственного веса с учетом гололеда. Результатом расчетов представляется минимальная масса шин и минимальная стоимость ошиновки с учетом типовых шинодержателей.

В результате проведенной работы было установлено следующее.

- Применение шин из сплавов АД31Т1 и АД35Т1 вместо общепринятого в РФ сплава 1915 Т в ряде случаев может существенно снизить стоимость ошиновки.
- Некоторые шинные конструкции имеют завышенные площади поперечного сечения шин. Показано, что дифференцированный учет параметров сети (номинального тока, тока короткого замыкания и др.) и параметров окружающей среды (скоростного потока ветра, толщины стенки гололеда) позволяет также снизить стоимость конструкций. Так, например, стоимость конструкции с номинальным током 2000 А может уменьшиться до 30% при уменьшении массы шины за счет увеличения внешнего диаметра и уменьшения толщины стенки шины. Однако, в случае применения литых шинодержателей обжимного типа, стоимость аналогичной конструкции можно уменьшить только до 15%. Это объясняется непропорциональным увеличением стоимости узлов креплений с увеличением диаметра шины.

Литература

1. **СТО 56947007-29.060.10.005-2008.** Методические указания по проектированию жесткой ошиновки ОРУ и ЗРУ 110–500 кВ
2. **СТО 56947007-29.060.10.006-2008.** Методические указания по расчету и испытаниям жесткой ошиновки ОРУ и ЗРУ 110–500 кВ

*М. Жамбалдорж, студ.; А. Лхамдондог, асп.;
рук. Ю. П. Гусев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОИНДУЦИРОВАННЫХ ТОКОВ НА РАБОТУ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Силовые и измерительные трансформаторы оказывают существенное влияние на надежность электроснабжения потребителей. Нарушение их работы может привести к недоотпуску электроэнергии, простою и значительным потерям. Одним из причин нарушения работы трансформаторов являются геоиндуцированные токи (ГИТ), индуцируемые в воздушных линиях электропередачи, обусловленные изменениями геомагнитного поля Земли, при повышенной солнечной активности [1]. ГИТ являются квазипостоянными, их частота 0,001–0,1 Гц. Имея естественный контур протекания земля — трансформатор — линия электропередач — трансформатор, ГИТ непосредственно влияет на магнитную систему трансформатора [2].

Магнитная система трансформатора имеет нелинейную характеристику. Насыщение магнитной системы трансформатора приводит к смещению рабочей точки на кривой намагничивания. Это может вызвать ложное срабатывание релейной защиты, перегрев трансформатора, также возможно увеличение бросков токов намагничивания при включении трансформатора под нагрузку.

Исследование проводилось в программном пакете Elcut Professional, где создана математическая модель участка сети с силовым трансформатором. Модель позволяет рассчитывать нестационарные магнитные поля с учетом вихревых токов методом конечных элементов. Elcut имеет возможность подключать к объекту моделирования внешнюю электрическую цепь и рассмотреть различные режимы работы трансформатора. Результаты данного исследования позволят оценить влияние ГИТ на пусковые токи трансформаторов, на работу релейной защиты, разработать рекомендации направленные на повышение надежности электроэнергетических систем.

Литература

1. **Вахнина В. В., Кувшинов А. А., Шаповалов В. А.** Технологические проблемы, вызванные возмущениями космической погоды // Мир измерений. № 9, 2014.
2. Effects of geomagnetically induced currents on power transformers and power systems / R. Girgis, K. Vedante, K. Gramm // CIGRE paper # A2 – 304, August 2012.

*Е. С. Канунникова, Р. И. Никулин, студенты.;
рук. В. А. Старшинов, к.т.н., проф. (НИУ«МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ТИПА ТЗВ-1200-2А

Мощные шестифазные турбогенераторы (ТТ) типа ТЗВ-1200-2А находят широкое применение на строящихся в настоящее время энергоблоках атомных электростанций. В рамках принятой энергетической стратегии России на период до 2030 г. перед атомно-энергетическим комплексом стоит задача увеличения роста мощностей на 20%, до 52–62 ГВт. Данный рост может быть гарантирован строительством АЭС с использованием усовершенствованных шестифазных турбогенераторов типа ТЗВ-1200-2А.

В научной работе проведен анализ режимов работы турбогенератора. Для оценки режимов работы в электрической части построена диаграмма мощности и рассмотрены маневренные исследуемые характеристики ТТ ТЗВ-1200-2А. Проведен выбор расчетной схемы замещения. По исследуемой расчетной схеме замещения шестифазной обмотки турбогенератора проведены расчеты токов короткого замыкания (КЗ). Анализ полученных результатов показывает, что наибольший ток КЗ на выводах обмотки, работающей на холостом ходу после синхронизации генератора с сетью, если вторая обмотка разомкнута. Наибольший ток от трансформатора получается при трехфазном КЗ одной из обмоток при работе генератора на номинальной мощности. При этом ток от второй обмотки получается меньше номинального тока. Ток через трансформатор превышает ток обмотки генератора. Для повышения надежности работы энергосистемы был предложен вариант подключения данной машины через два трансформатора к разным секциям. В связи с увеличением количества выключателей предложена схема 4/6 распределительного устройства. Так же решена сложная комплексная задача по созданию конструкции турбогенератора типа ТЗВ с полным водяным охлаждением и систем его обеспечения [1].

Результаты исследования подготовлены для учебно-методической работы по изучению электрической части АЭС.

Разработанные материалы будут способствовать в учебном процессе студентов более успешному изучению нового современного турбогенератора типа ТЗВ-1200-2А, установленного как в России, так и за рубежом.

Литература

1. **Кади-Оглы И. А.** Проблемы создания турбогенераторов с полным водяным охлаждением с самонапорным ротором // Санкт-Петербург — 2003.

*М. В. Карпунина, студент;
рук. Ю. П. Гусев, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АДАПТАЦИЯ AUTOCAD ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Использование компьютерных технологий в настоящее время стало неотъемлемой частью современного проектирования. Система автоматизированного проектирования (САПР) является основным компонентом интегрированной системы проектирования и управления (ИСПиУ), цель которой заключается в повышении качества выпускаемой продукции, сокращении сроков проектирования, повышении производительности труда.

В работе представлены результаты адаптации программного обеспечения AutoCAD для проектирования электроустановок. Целью адаптации является демонстрация возможностей AutoCAD для автоматизированной подготовки схем электрических соединений электростанций и подстанций и соответствующих им спецификаций электрооборудования на основе специально созданных библиотек графических символов и баз текстово-числовых данных, содержащих сведения из задания на проектирование, каталожную информацию и результаты расчетов, выполняемых в процессе выбора электрооборудования. В перечень задач работы также входит демонстрация возможностей AutoCAD по настройке пользовательского интерфейса с помощью интерактивного редактора вместо трудоемкого редактирования файлов MNU или MNS в текстовом редакторе, как это было раньше. При создании интерфейса пользователя и для выполнения вспомогательных операций в созданном учебно-методическом комплексе используются макросы, выполняемые на встроенных средствах программирования AutoLISP и VisualBasic [1].

Результаты работы были использованы при разработке обновленного курса лекций и цикла лабораторных работ, вошедших в состав учебно-методического комплекса учебной дисциплины «САПР электроустановок» программы магистратуры кафедры «Электрические станции» НИУ «МЭИ». Освоение технологических возможностей и приобретение навыков практической адаптации AutoCAD дает обучающимся знания, которые в силу схожести современных программ позволяют легко освоить и другие САПР, использующиеся в проектных институтах, в сетевых и генерирующих компаниях.

Литература

1. **Полещук Н. Н.** Программирование для AutoCAD 2013–2015. — М.: ДМК Пресс, 2015. — 462 с.

*В. В. Говорин, студ.; А. Г. Каюмов, асп.;
рук. Ю. П. Гусев, к.т.н., проф (НИУ «МЭИ»)*

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ НА ТОКИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Изменение тока в процессе короткого замыкания (КЗ) зависит от типа и параметров системы возбуждения (СВ). Учет типа СВ и ее параметров позволяет повысить точность расчета токов КЗ и избежать чрезмерных требований к термической стойкости электрооборудования, отключающей способности выключателей.

В данной работе в программном комплексе MATLAB был смоделирован процесс КЗ на выводах генератора [1]. Дано сопоставление токов КЗ при применении тиристорной независимой системы возбуждения (СТН) и тиристорной системы самовозбуждения (СТС) с пропорционально-интегральными регуляторами [2]. Установлено, что учет типа СВ может приводить к изменению тока КЗ более чем на 10%, интеграл Джоуля может изменяться на 15%. На рис. 1. приведены результаты расчета.

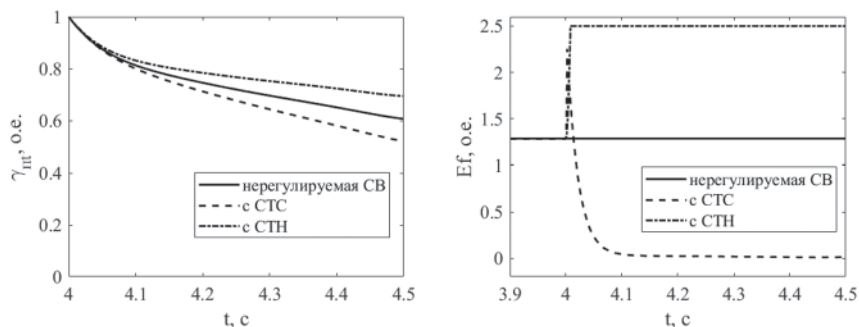


Рис. 1. Ток статора и напряжение возбуждения, при КЗ на выводах генератора

Результаты исследования подтверждают целесообразность учета типа и параметров СВ при расчетах КЗ, выполняемых с целью выбора токоведущих элементов и выключателей для цепей генераторного напряжения и могут быть использованы для совершенствования методов расчета токов КЗ в электроэнергетических системах. Уточненные расчеты КЗ позволят продлить использование электрооборудования, избежать их необоснованной преждевременной замены обусловленной ростом уровней токов КЗ.

Литература

1. **Laura L. Tomás I.** Theoretical and Experimental Analysis of the Short Circuit Current Components in Salient Pole Synchronous Generators, 11th Spanish Portuguese Conference on Electrical Engineering (11CHLIE), 2009.
2. **Abdul J. K. Amjadullah K.** Verification of Short Circuit Test Results of Salient Poles Synchronous Generator, International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN 2319-7064.

*Е. О. Солдусова, А. В. Проничев, студенты;
рук-ли В. Г. Гольдштейн, д.т.н., проф.; А. А. Казанцев, асс.
(СамГТУ, Самара)*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

В современных условиях потери мощности можно значительно снизить применением в силовых трансформаторах (СТ) некоторых инновационных решений: использование эффекта низко- и высокотемпературной сверхпроводимости (НТСП, ВТСП) для уменьшения потерь в обмотках СТ, а также применение СТ с сердечником из аморфных ферромагнитных материалов (АФМ) и бессердечниковых конструкций СТ [1].

Был использован фрагмент сети 10 кВ «Смышляевка-Тяговая», в котором смоделирована замена традиционных масляных трансформаторов (ТМ) на всех ТП с учетом реальных нагрузок на АФТ, ВТСТ и АВТСТ. Физической основой компьютерных экспериментов является определение потерь активной мощности в АФТ, АВТСТ и ВТСТ по известному выражению (1):

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{xx}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot k_{\text{загр}}, \quad (1)$$

где $k_{\text{загр}}$ — коэффициент загрузки.

Была оценена эффективность применения АФТ, ВТСТ и АВТСТ по сравнению с ТМ путем определения потерь только в трансформаторах, без учета потерь ЭЭ на рефрижирование в ВТСТ и АВТСТ. Из диаграммы (рис. 1) видно, что энергоэффективность таких тр-ров выше, чем масляных.

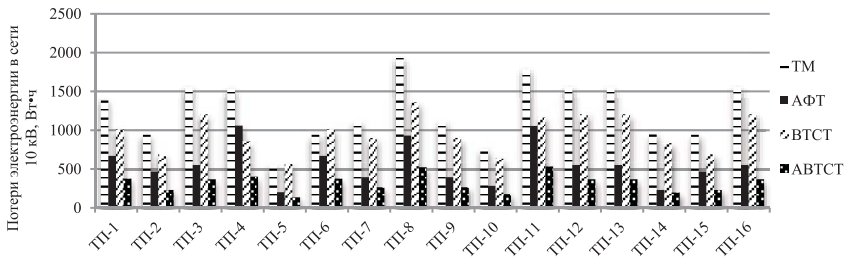


Рис. 1. Результаты расчетов удельных потерь в сети 10 кВ

Можно сделать вывод, что введение в эксплуатацию АФТ, ВТСТ и АВТСТ является одним из наиболее перспективных путей снижения технических потерь распределительных сетей.

Литература

1. Гольдштейн В. Г., Инаходова Л. М., Казанцев А. А., Молочников Е. Н. Анализ эксплуатационных свойств трансформаторов с сердечниками из аморфных материалов и защита их с помощью нелинейных ограничителей перенапряжений. Вестник СамГТУ. Серия «Техн. науки». — Самара, № 4 (40). 2013 г. с. 149–157.

М. В. Кирищев, студ.; рук. В. В. Жуков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ САМОЗАПУСКА МЕХАНИЗМОВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭНЕРГОБЛОКА ПГУ ПРИ ПЕРЕРЫВАХ ПИТАНИЯ

Одним из наиболее эффективных способов сохранения собственных нужд электростанции с энергоблоком ПГУ при системной аварии является создание на ней автономной системы собственных нужд (АССН), которая обеспечивает энергией всех выделенных потребителей ТЭС [1]. Но вместе с тем есть вероятность возникновения КЗ в созданной системе, вызывающее перерыв питания, что может привести к потере механизмов СН.

В работе исследуются режимы самозапуска механизмов СН энергоблока ПГУ-450 Калининградской ТЭЦ-2 при перерывах питания, вызванных коротким замыканием (КЗ) в автономной системе собственных нужд (АССН). При этом рассмотрен переход с рабочего источника питания СН на резервный источник в виде аварийной электростанции.

Для расчета переходных процессов при перерывах питания и самозапуске электродвигателей СН использовалась программа GUMOTORS, разработанная на кафедре «Электрические станции» МЭИ.

Ниже представлены результаты исследования режима КЗ при наибольшем перерыве питания СН ($t_{\text{шт}} = 1,1$ с.) и КЗ со стороны высшего напряжения (15,75 кВ) питающего секцию трансформатора СН.

В табл. 1 приведены результаты расчета двух режимов самозапуска электродвигателей, питающихся от секции с отключением секции от рабочего источника питания и переключением на резервный с включенным и отключенным газовым дожимным компрессором (ГДК).

Таблица 1. Напряжение на секции при перерыве питания и самозапуске

Режим	$t_{\text{шт}}, \text{с}$	$t_{\text{сз}}, \text{с}$	Напряжение, кВ/отн. ед.		
			до перерыва	остаточное	начальное
1 (ГДК включен)	1,1	1,0	6,15/0,976	0,07/0,01	4,49/0,713
2 (ГДК отключен)	1,1	0,5	6,21/0,986	0,89/0,141	5,81/0,922

Как видно из таблицы, начальное напряжение в 1 и во 2 случаях составляет $0,713U_{\text{ном}}$ и $0,922U_{\text{ном}}$ соответственно, что выше критерия успешности самозапуска $0,7U_{\text{ном}}$, утвержденного ОАО «Фирма ОРГРЭС». Следовательно, самозапуск механизмов СН рассматриваемого энергоблока ПГУ Калининградской ТЭЦ-2 при перерыве питания СН длительностью 1,1 с. с разным составом механизмов СН прошел успешно.

Литература

1. Буртаков, В. С., Касьянов Л. Н., Глускер Б. Н., Кузьмичев В. А. Автоматическое выделение собственных нужд ТЭС при аварийных изменениях частоты или напряжения в сети // Электрические станции. 2012. № 3. С. 23–33.

С. А. Косарев, студент; рук. Ю. П. Гусев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ УСТОЙЧИВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

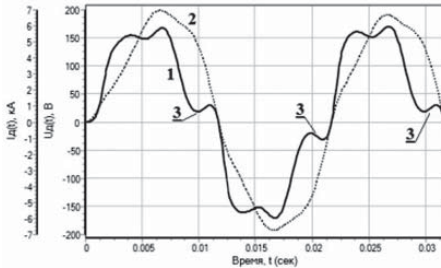


Рис. 1. Расчетные графики: 1 — $U_d(t)$; 2 — $I_d(t)$; 3 — области погасания дуги

При расчете дуговых коротких замыканий в ряде задач возникает необходимость в получении мгновенных значений параметров электрической дуги [1]. Цель данной работы — рассмотреть возможность построения полуэмпирической модели устойчивой электрической дуги с упрощенным описанием термодинамических и электрофизических процессов. Задачи данной работы заключались в выработке системы

дифференциальных уравнений, описывающих изменение параметров дуги, проверка существования устойчивого решения, а также его сравнение с результатами экспериментов [2]. Для решения поставленных задач использовалось компьютерное моделирование с использованием программного комплекса SimInTech, а для описания геометрии дуги использовалось задание зависимости длины дуги от времени в виде ряда:

$$l_d(t) = \sum_{i=0}^n L_i e^{\alpha_i t} \sin(\omega_i t + \varphi_i), \quad (1)$$

где $\omega_i = 4\pi f i$; n характеризует точность представления длины дуги; значения L_i , α_i и φ_i определяются из опытов или общих соображений.

Пример результатов моделирования при $n=5$ представлен на рис. 1. Данный пример демонстрирует текущие недостатки предложенной модели: проблему учета высших гармоник и проблему погасания дуги. Последняя обусловлена тем, что в текущей версии модели отсутствует отдельный механизм, описывающий происходящее при этом рассеивание энергии дуги во внешнюю среду. Для решения этих проблем предлагается провести уточнение ряда (1), а также доработать описание термодинамических и электрофизических процессов.

Литература

1. Короткие замыкания и выбор электрооборудования / И. П. Крючков, В. А. Старшинов, Ю. П. Гусев и др. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
2. Жуков В. В. Короткие замыкания в электроустановках напряжением до 1 кВ, Издательство МЭИ, 2004.

А. Ш. Маджидов, асп.; рук. Ю. П. Гусев, к.т.н., проф. (НИУ, МЭИ)

ВЛИЯНИЕ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Провалы напряжения обычно происходят из-за неисправности в электроустановках, а также при подключении мощной нагрузки [1].

Особенностью асинхронных двигателей (АД) в сетях 0,4 кВ состоит в том, что они управляются с помощью контакторов и магнитных пускателей (К и МП), имеющих свойство самопроизвольно отключаться при снижении напряжения на катушке управления.

Напряжение отключения К и МП зависит от конструктивной особенности этих аппаратов, от состояния магнитной системы, от регулировки контактной системы, натяжные пружин и меняется в достаточно широких пределах 0,60–0,35 от номинального [2].

За трансформаторами 6–10/0,4 кВ со схемами и группами соединения обмоток $Y/Y-12$ [3] при однофазном коротком замыкании (ОКЗ) в сети 110 кВ в одной из фаз напряжение снижается до $0,2 \cdot U_{\text{ном}}$. В низковольтной сети, питающейся от трансформаторов 6–10 кВ с обмотками $D/Y-11$, минимальным оказывается фазное напряжение, при этом минимальные значения линейных напряжений составляют $0,53 \cdot U_{\text{ном}}$.

При изменении электрической удаленности точки ОКЗ остаточное напряжение на клеммах катушки управления К и МП изменяется, представляет интерес вопрос о том, при каком удалении оно не будет вызывать отключение АД и нарушение технологических процессов.

Если схемой управления предусмотрен самозапуск АД, то после отключения ОКЗ и восстановления напряжения К и МП вновь включаются, однако условия самозапуска, для некоторых АД, могут быть неблагоприятными.

С помощью программы ETAP (компания OTI США) исследовано влияние электрической удаленности и продолжительности коротких замыканий и вызванных ими провалов напряжения на АД и механизмы с различными характеристиками. Определены условия, при которых можно избегать аварийных ситуаций, приведены требования к защитной аппаратуре, способствующей успешным самозапущам АД.

Литература

1. **ГОСТ 32144-2013** Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ), изд. 7, 2001–2004 г.
3. **Фишман В. С.** Провалы напряжения в сетях промпредприятий. Минимизация последствий // *Новости Электротехники.* — 2004. — № 6 (30).

М. Н. Машковцева, студ.;
рук. О. Ю. Гусев, ст. преп. (НИУ «МЭИ», Москва)

ПРОВЕРКА УСПЕШНОСТИ ГРУППОВЫХ САМОЗАПУСКОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

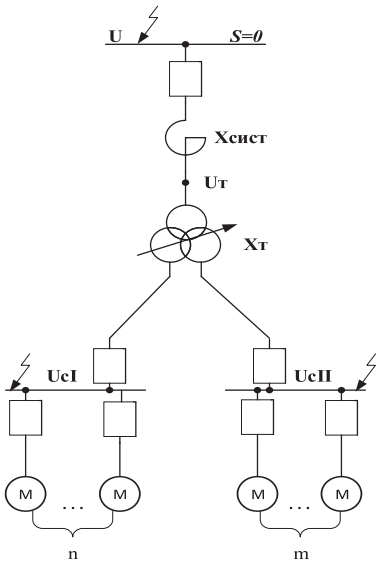


Рис. 1. Расчетная схема

Надежность работы станции во многом зависит от работы электродвигателей собственных нужд (с.н.). Во время аварийных ситуаций, вызванных короткими замыканиями (КЗ), важно не отключать двигатели при кратковременных снижениях или полном исчезновении напряжения на шинах с.н. ответственных механизмов от сети [2]. Особое внимание уделяется вопросу расчета механического момента нагрузки на валу двигателей в зависимости от скорости вращения.

Для нормальной работы с.н. станции, проверки успешности группового самозапуска АД, оценки глубины и продолжительности провалов напряжения к моменту окончания самозапуска, необходимо решение системы дифференциальных уравнений переходных процессов, описывающее поведение двигателей [1].

На основе численного метода решения системы дифференциальных уравнений, с использованием программного обеспечения Mathcad, создана универсальная расчетная модель системы собственных нужд, позволяющая рассчитывать электромеханические переходные процессы при групповом самозапуске асинхронных двигателей с.н. с разными типами механических нагрузок, что позволяет оценить успешность групповых самозапусков АД. Проведены расчеты режимов групповых самозапусков АД при КЗ и провалах напряжения на основе разработанной модели, проанализированы их результаты.

Литература

1. Гусев Ю. П. Спецвопросы электрической части станций и подстанций, «МЭИ», 2003.
2. Усов С. В. Электрическая часть электростанций, «Энергия», 1977.

Т. А. Никулкина, студ;
рук. А. А. Антонов, к. т. н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

КОМПЬЮТЕРНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

Современное инженерное образование базируется на использовании компьютерных технологий, внедрении новых компьютерных программ, что позволяет упростить рутинные расчетные задачи, выполняемые обучаемыми, интенсифицировать процесс обучения. На кафедре «Электрические станции» НИУ «МЭИ» используются учебные версии программного обеспечения (ПО) *EMTP-RV* и *ETAP*, которые позволяют исследовать переходные процессы в элементах электроэнергетической системы (ЭЭС) и автоматизировать процедуры проектирования электрической части электростанций и подстанций. Требуется разработка сопроводительных методических материалов для внедрения в процесс подготовки бакалавров и магистров современного ПО — курса лекций в форме пояснительной записки и презентаций в рамках обновления электронных учебно-методических комплексов преподаваемых дисциплин.

В рамках исследований были разработаны текст лекций и презентации по следующим тематикам:

- цели и задачи, область применения, принципы математического моделирования;
- особенности составления схем замещения элементов ЭЭС и влияние на них переходных процессов (ПП) [1, 3];
- интерфейс, математические модели элементов, способы визуализации результатов в программах *EMTP-RV* и *ETAP* [2, 3];
- моделирование ПП при коротких замыканиях и подключении сети силового трансформатора с использованием *EMTP-RV* [3].

Разработанные материалы будут способствовать более успешному приобретению обучаемыми компетенций по владению методами и инструментами расчета и анализа ПП в ЭЭС, представлению и оценки достоверности полученных результатов.

Полученные материалы лекций войдут в состав обновляемого электронного учебно-методического комплекса по дисциплинам «Электромагнитные переходные процессы в ЭЭС» и «Компьютерные методы анализа ПП в ЭЭС».

Литература

1. **Крючков И. П.** Переходные процессы в электроэнергетических системах, МЭИ 2008.
2. *ETAP User Guide. Operation Technology, Inc 2017*
3. *Electro-Magnetic Transients Program (EMTP) Theory Book.*

*В. А. Одрузова, студ.;
рук. А. А. Воронин, к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)*

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ПО ВЫБОРУ СБОРНЫХ ШИН ПОВЫШЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Определение величины максимального перетока мощности в современных схемах РУ без применения вычислительной техники является достаточно трудоемкой задачей. Кроме того, в курсовом и дипломном проектировании наибольший переток мощности принимается равным мощности наиболее мощного присоединения, что приводит к завышению сечения провода, которым выполняются сборные шины [1]. Для решения этой проблемы была разработана экспертная система по выбору сборных шин повышенных напряжений. Система реализована на алгоритмическом языке Visual Basic и рассчитана на диалоговый режим работы [2]. Для определения наибольшего перетока мощности рассматриваются нормальный и аварийные режимы в РУ. При построении алгоритма расчета перетока мощности по сборным шинам используется метод узловых напряжений, источники мощности в узлах схемы замещения моделируются источниками тока, а перетоки мощности — токами в ветвях. Из проводимостей ветвей формируется матрица узловых проводимостей. В результате решения системы уравнений определяются напряжения в узлах схемы, а далее и токи в ветвях схемы.

$$I_B = G_B \cdot (E_k - E_j) \quad (1)$$

где I_B — ток в ветви; G_B — проводимость ветви; E — значение напряжения в узлах схемы; k — номера узлов, обозначающие начала ветвей; j — номера узлов, обозначающие концы ветвей.

Рассчитав по выражению (1) перетоки в ветвях схемы, легко выбрать наибольший переток мощности.

Простота подготовки и ввода данных, небольшое время расчета позволяет пользователю рассчитать не один вариант присоединения линий и трансформаторов. Разработанная система автоматизированного выбора гибких сборных шин может быть использована студентами электроэнергетических специальностей, а также организациями, ведущими работы по проектированию распределительных устройств повышенных напряжений.

Литература

1. **Костылев Б. И., Добросотских А. С.** Электрические станции и подстанции: Учебно-метод. пособ. — Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2014. — 167 с.
2. **Воронин А. А., Одрузова В. А.** Система автоматизированного выбора гибких сборных шин распределительных устройств. Электроэнергетика глазами молодежи: материалы VIII Международной научно-технической конференции, 02–06 октября 2017, Самара. — В 3 т. Т 1. — Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2017. — 436 с.

Н. В. Разуваев, студ.; рук. Е. П. Окнин, ассистент (НИУ«МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЕМКОСТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ПОВРЕЖДЕНИЯ ПРИ ОЗЗ В СЕТЯХ С РЕЗИСТИВНО ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

На настоящий момент в России самым распространенным способом является эксплуатация сетей с изолированной нейтралью. Но режим изолированной нейтрали имеет ряд известных недостатков, поэтому все чаще поднимается вопрос о смене режима заземления нейтрали [2].

В работе рассматривается режим заземления нейтрали через низкоомный резистор. Исследуется зависимость активного и емкостного тока от удаленности ОЗЗ от источника питания, что позволит улучшить селективность и чувствительность срабатывания релейной защиты на отключение поврежденного фидера.

Реализация поставленной задачи осуществлялась как с помощью аналитических расчетов сетей с разным напряжением и разными входными параметрами, так и с помощью программных комплексов «Etap» и «Neplan». Программные комплексы позволяют проверить время срабатывания и селективность релейной защиты, которая работает на мгновенное отключение ОЗЗ. Таким образом проверялось правильность выбора релейных защит.

По результатам расчетов были определены активные и емкостные составляющие токов ОЗЗ и построены векторные диаграммы токов и напряжений, в зависимости от удаленности КЗ от источника питания. На основании полученных зависимостей сделан вывод о том, что активная составляющая тока должна превышать максимально возможное значение емкостного тока в полтора раза. Исходя из того, что при таком соотношении перенапряжение на неповрежденных фазах не превышает $2,5U_{ф}$. Также стоит отметить, что к концу линии отношение активной составляющей к емкостной заметно растет, к примеру, получено, что вблизи источника питания отношение равнялось 2.2, то уже на расстоянии 10 км отношение увеличилось почти в 10 раз. На это важно обратить внимание, так как при большом отношении не выполняется критерий электробезопасности сети.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. — 7-е изд., — 2002.
2. **Евдокунин Г. А., Титенков С. С.** Режимы заземления нейтрали сетей 6–10 кВ. Доклады научно-технической конференции. — Новосибирск, 2000.
3. **Качура Д. В.** Резистивное заземление нейтрали в сетях 6–35 кВ. — Архангельск, 2015.

*Д. Ю. Середкин, студент;
рук. А. Д. Купчинов, асп. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ПУСКА МОЩНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

В настоящее время в системах собственных нужд (СН) электрических станций широко применяются нерегулируемые асинхронные двигатели (АД), основной способ запуска которых — прямой.

При прямых пусках двигателя в цепи, в том числе и на питающей шине, наблюдаются броски тока, которые могут достигать 5–7 крат номинального значения и, как результат, существенные просадки напряжения. При проектировании и эксплуатации систем собственных нужд важным является определение условий пуска двигателей, при которых падение напряжения на питающих шинах электрической станции и потери электроэнергии (ЭЭ) в этой системе будут наименьшими [1].

Работа направлена на исследование возможности снижения мощности трансформатора собственных нужд (ТСН) при использовании преобразователя частоты (ПЧ), снижения сечения кабеля в цепи АД при проектировании электроустановок собственных нужд электростанций.

Минимальные мощности ТСН, достаточные для запуска АД мощностью 400 кВт при различных способах пуска ($T_{\text{пуска}} < 60$ с) и при прочих равных условиях представлены в табл. 1. Данные были получены путем изменения мощности ТСН при моделировании пуска в программном обеспечении ЕТАР.

Таблица 1. Параметры пуска АД при наличии и отсутствии ПЧ

Способ пуска	$T_{\text{пуска}}$, с	$S_{\text{ТСН}}$, МВА	$I_{\text{пуск}}$, %	Упитающей шины, %
Прямой	48	~5,7	350	70
Частотный	9	3	260	85

Согласно таблице 1, использование ПЧ позволит использовать ТСН более низкой мощности и повысит качество ЭЭ в СН при пусках АД.

Литература

1. **Гашимов А. М., Рахманов Р. Н.** Исследование влияния пуска мощных асинхронных двигателей газокompрессорных установок на режим питающей электрической сети // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2012. № 1. С. 17–22.

П. Ю. Шпилева, Л. С. Ковалева, студ.;
рук. В. В. Жуков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ ПГУ-330-ЯР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА СВБР-100

В настоящее время подразделениями Госкорпорации «Росатом» выполняются работы по созданию опытно-промышленного энергоблока АЭС с ядерным реактором СВБР-100 (свинцово-висмутовый быстрый реактор), тепловая мощность которого $Q_p = 280$ МВт, и паротурбинной установкой мощностью $N_p = 100$ МВт.

Однако, как и для технологий с водо-водяными энергетическими реакторами (ВВЭР), ограничение температуры свежего пара в паротурбинной установке с реактором СВБР-100 на уровне состояния насыщения ($t_0 = 282,8^\circ\text{C}$) не дает возможности реализовать КПД брутто выше 37%.

Относительно низкий уровень КПД и проблемы, возникающие при расширении влажного пара в проточной части турбины, заставляют искать решения, позволяющие при сегодняшнем уровне развития энергетики повысить экономичность паротурбинной установки и надежность ядерного энергоблока. Наиболее значимым решением является использование в энергоблоках АЭС газотурбинных и парогазовых технологий.

Совместное использование ПГУ с ядерным реактором СВБР-100 приведет к решению проблем маневренности, реализации пиковых нагрузок потребителей электрической энергии, а также обеспечит их тепловой энергией [1]. Эта проблема может быть решена созданием энергетического комплекса, состоящего из двух электростанций: АЭС и ПГУ-ТЭЦ.

В работе обоснована электрическая схема установки в виде ЯР+2 ГТУ+КУ+ПТ, (ЯР — ядерный реактор, КУ — котел-утилизатор, ПТ — паровая турбина), имеющая в своем составе два генератора мощностью 70,2 МВт каждый и турбогенератор 187,6 МВт, а также энергетического комплекса АЭС и ПГУ-ТЭЦ (АЭС: 2x100 МВт и ПГУ-ТЭЦ: 2x63 МВт) выбрана схема выдачи мощности электростанцией, произведен расчет токов короткого замыкания, выбрано оборудование и исследованы режимы работы АЭС в автономном режиме и в режиме связи с энергосистемой.

Литература

1. **Касилов В. Ф., Дудолин А. А., Господченков И. В.** Эффективность использования парогазовой технологии в энергоблоке АЭС с ядерным реактором СВБР-100 // Теплоэнергетика. 2015. № 5. С. 14–20.

А. А. Симонов, студ.; рук. А. В. Трофимов, к.т.н., доц. (НИУ«МЭИ»)

АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО ОБМЕНА МЕЖДУ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ В СООТВЕТСТВИИ С МОДЕЛЯМИ МЭК 61850

В настоящий момент крайне актуальна проблема замены устаревшего оборудования, выполненного на базе традиционных средств, и перевода энергетических объектов в «цифровое поле». Одна из программ, призванная решить эту задачу, получила название: «программа повышения надежности и наблюдаемости». В рамках нее предполагается организация сбора данных с нижнего (полевого) уровня и передача их на верхний уровень, с целью диспетчеризации и управления.

Как правило, энергетические объекты являются сложной и крайне распределенной системой, встают вопросы об организации цифрового обмена между интеллектуальными электронными устройствами (ИЭУ). Для решения данной проблемы был разработан стандарт МЭК 61850.

Целью данной работы является изучение информационного обмена между ИЭУ в автоматизированных системах управления электротехническим оборудованием (АСУ ЭТО). В качестве экспериментальной установки для этих исследований, был выбран учебно-исследовательский полигон АСУ электроустановок, находящийся на кафедре электрических станций МЭИ. В составе полигона имеются распределительное устройство собственных нужд напряжением 0,4 кВ, щит постоянного тока, КРУ 10 кВ с выключателями разных производителей. Полигон оснащен современными микропроцессорными средствами защиты и управления, представляющими собой ИЭУ. [1]

В настоящее время, принципы организации современных микропроцессорных АСУ ЭТО, в рамках стандарта МЭК 61850, достаточно трудны и мало описаны в литературе. Одной из задач данной работы будет разработка методических материалов на примере полигона МЭИ и контроллера WAGO 750-8202/025-002. Будет продемонстрирован анализ межконтроллерного взаимодействия при реализации алгоритма управления электротехническим оборудованием с использованием однорангового обмена в виде GOOSE сообщений и обмена нижнего с верхним уровнем с использованием MMS сервиса.

Литература

1. **Гусев Ю. П., Поляков А. М., Трофимов А. В.** Учебно-исследовательский полигон АСУ электроустановок. Энергоэксперт № 3 — 2011, 36–40 с.

А. Тасмалы, студ.; рук. А. В. Трофимов, к.т.н, доц. (НИУ«МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНФИГУРИРОВАНИЯ SCADA-СИСТЕМЫ В СООТВЕТСТВИИ С МОДЕЛЯМИ МЭК 61850

В настоящее время общей тенденцией является разработка АСУ ЭТО для цифровых подстанций с помощью протокола МЭК 61850, который является объектно-ориентированным протоколом, фокусированным на автоматизацию подстанций, и значительно расширяет возможности предшествующих

стандартов МЭК. Основной целью протокола МЭК 61850 является совместимость оборудования различных производителей и информационных моделей.

Важнейшая составляющая АСУ ЭТО является SCADA-система, позволяющая управлять технологическим процессом с автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора.

На полигоне кафедры «Электрические станции» Московского энергетического института развивается методическая база для использования различных средств SCADA-систем.

Целью данной работы является исследование методов конфигурации операторского интерфейса и методических указаний системы MasterSCADA в соответствии с ГОСТ Р МЭК 61850.

В работе рассмотрена задача управления логическими узлами (Рис. 1), а так же связь атрибутов с визуализацией на мнемосхеме [1].

Итогом работы будет являться разработанный пользовательский интерфейс системы MasterSCADA позволяющий наглядно показать возможность конфигурирования SCADA-систем с помощью протокола МЭК 61850.

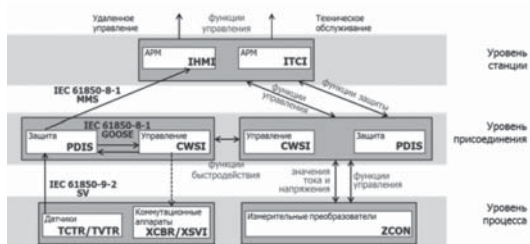


Рис. 1. Архитектура логических узлов

Литература

1. Трофимов А. В. Основы организации микропроцессорных автоматизированных систем управления технологическими процессами электроустановок. М.: Издательство МЭИ, 2014

Д. А. Беляев, В. А. Ткач, студ. ;
рук. А. А. Антонов, к. т. н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ETAP

Процесс проектирования электроустановок характеризуется постоянным ростом трудоемкости из-за расширения номенклатуры выбираемого оборудования, увеличения требований нормативной документации, совместного использования оборудования отечественного и зарубежного производства. С целью облегчения выполнения многочисленных рутинных операций при проектировании необходимо внедрение средств автоматизации — инженерных программ, позволяющих выполнять на одной модели разнотипные расчетные задачи (расчет токов КЗ, расчет схемной надежности, проверка статической и динамической устойчивости, проверка пуска и самозапуска двигателей, проверка установок релейных защит и т. д.).

На кафедре «Электрические станции» НИУ «МЭИ» внедряется в процесс обучения программное обеспечение (ПО) *ETAP* [1], которое позволяет в промышленных масштабах автоматизировать процедуры проектирования электрической части электростанций и подстанций. Форма получения навыков работы в программе *ETAP* у обучаемых — выполнение и защита лабораторных работ.

В рамках исследования разработан сборник лабораторных работ, в который вошли 6 работ по исследованию переходных процессов в электроэнергетических системах с применением ПО *ETAP*: расчет и ограничение токов коротких замыканий, электродинамическая устойчивость пуска генераторов, исследование пуска и самозапуска двигателей [2]. Описание каждой лабораторной работы включает в себя теоретическую справку, задание на подготовку, варианты исходных данных по бригадам, указания по выполнению работы, требования к оформлению отчета о выполнении работы, контрольные вопросы. Вместе с описанием лабораторной работы разработаны соответствующие расчетные модели в ПО *ETAP*.

Разработанные описания лабораторных работ войдут в состав обновляемого электронного учебно-методического комплекса по дисциплинам «Электромагнитные переходные процессы в ЭЭС» и «Компьютерные методы анализа ПП в ЭЭС».

Литература

1. *ETAP User Guide. Operation Technology, Inc 2017.*
2. **Крючков И. П.** Переходные процессы в электроэнергетических системах, МЭИ 2008.

П. С. Васильев, студ.;
рук. А. М. Поляков, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА

Одним из наиболее точных и чувствительных методов диагностики механического состояния обмоток трансформаторов является метод частотного анализа. Его принцип заключается в том, что от специального генератора на ввод обмотки подается зондирующий сигнал, а с вводов других обмоток регистрируются реакции обмоток на воздействие этого сигнала.

На основе данного метода в России с 2005 г. разрабатываются и применяются диагностические установки типа «Импульс», имеются базы экспериментальных данных [1].

Функциональные возможности программ для диагностики различаются. Нехватка экспериментальных данных и данных об объекте испытаний или наоборот их избыточность приводят к невозможности обмена данными между специалистами, использующими различное ПО.

В 2012 г. был введен стандарт МЭК 60076-18 [2], который регламентирует условия эксперимента и полноту необходимой информации. Однако используемое в России программное обеспечение в плане объема информации до сих пор не стандартизировано.

В результате анализа [2] необходимая информация была разбита на следующие категории: испытываемое оборудование (паспортные данные), диагностическое оборудование, условия проведения опыта, его результаты. В ПО установки «Импульс-10» была реализована подпрограмма, конвертирующая имеющуюся в базе данных информацию в XML формат (рис. 1). Файл в примере содержит только необходимые данные (развернут 1 подзаголовок, еще 2 свернуты), список рекомендуемых в стандарте данных несколько шире.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="true"?>
<FRA>
  - <Transformer identifier="012345678">
    <Date>2017-09-03</Date>
    <Time>18h00</Time>
    <Manufacturer>ABCDEF</Manufacturer>
    <SerialNumber>012345678</SerialNumber>
  </Transformer>
  + <MeasurementSetup>
  + <MeasurementResult>
</FRA>
```

Рис. 1. Файл в формате XML

Литература

1. Интерпретация результатов диагностики силовых трансформаторов при использовании метода частотного анализа (FRA) / А. Ю. Волков, А. А. Дробышевский, В. С. Ларин и др. // 46-я сессия СИГРЭ 2016
2. **IEC 60076-18 Ed.1:** Power transformers — Part 18: Measurement of frequency response

*К. Р. Власкин, студ., Н. Н. Смотров, асп.,
рук. Ю. В. Монаков, к.т.н., ст. преп. (НИУ МЭИ)*

ВЛИЯНИЕ ИОНИСТОРОВ НА ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В СОПТ

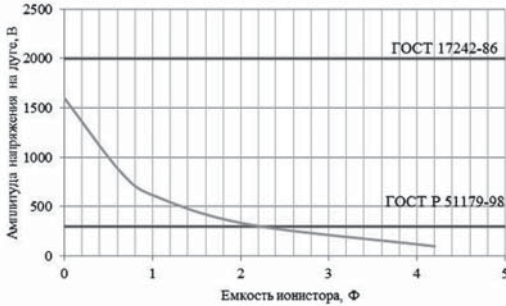


Рис. 1. Амплитуды перенапряжения при разной емкости ионисторов

через кабельную распределительную сеть или общий контур заземления. В работе проводилась оценка влияния установки ионистора (И) на амплитуду перенапряжений.

Исходя из [1], в качестве помехи был выбран импульс коммутационного перенапряжения амплитудой 1,8 кВ и продолжительностью 50 мс, что превышает максимально допустимое значение для цепей питания МП РЗ (300 кВ). Расчетным случаем является отключение короткого замыкания защитным аппаратом в начале отходящей от ЩПТ кабельной линии. АБ содержит 108 элементов типа GroE. Суммарный ток, потребляемый МП РЗА, равен 11 А. Кабель от ЩПТ до распределительного шкафа, к которому подключены МП РЗА, выбран марки ВВГ 2×6 мм², длиной 200 метров. Моделирование проводилось в программном комплексе EMTP- RV.

Из проведенного анализа следует, что при установке ионисторов емкостью более 2,1 Ф, выполняется норматив, приведенный в ГОСТ Р 51179-98. При увеличении емкости ионистора с 2,1 Ф до 4,2 Ф удается снизить амплитуду перенапряжения на 80%.

Литература

1. **Matsumoto T.** Experience of Numerical Protective Relays Operating in an Environment with High-Frequency Switching Surge in Japan // IEEE Transactions On Power Delivery. Vol. 21. No. 1. 2006.

С. М. Войтов, студ.;
рук. А. А. Антонов, к. т. н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ НАСЫЩЕНИЯ МАГНИТОПРОВОДОВ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА НАПРЯЖЕНИЕМ 110–500 КВ НА РАБОТУ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Некорректная работа устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) может привести к избыточным отключениям линий электропередачи (ЛЭП) межсистемной связи и ЛЭП выдачи мощности напряжением 220–500 кВ, таким образом, вызвать существенные ограничения в работе отдельных участков электроэнергетической системы, сопровождающиеся нарушением работы электростанций (ЭС) и отключением потребителей. Одной из причин нештатного срабатывания устройств релейной защиты (РЗ) является насыщение магнитопровода трансформаторов тока (ТТ) при протекании токов короткого замыкания (КЗ) с большим содержанием аperiodической составляющей тока КЗ [1]. На ЭС и подстанциях РФ широко используются ТТ типа *ТРХ*, которые после отключения КЗ могут сохранять значительную остаточную намагниченность. В ГОСТ 7746-2001 [2] определены требования к работе ТТ только в установившемся режиме.

Целью исследования является разработка рекомендаций по обеспечению корректной работы устройств РЗ в переходных режимах функционирования энергосистемы.

В научной работе проведено моделирование трехфазного КЗ в сети 220 кВ для ТТ с воздушным зазором и без такового. Как показывают результаты моделирования, ТТ без воздушного зазора типа *ТРХ*, используемые в сетях 220–500 кВ, могут давать погрешность по вторичному току до 15%.

Правильную работу РЗ можно обеспечить путем отказа отсоединения ТТ в группы в защитах ЛЭП, что позволит реализовать блокировку от внешних КЗ за счет контроля направлений токов ТТ трех фаз присоединения. При проектировании новых электроустановок рекомендуется также использовать ТТ типа *ТРЗ*: при наличии значительной аperiodической составляющей в токе КЗ данные ТТ накапливают малую остаточную намагниченность [3].

Результаты исследования могут быть использованы при проектировании новых электроустановок, а также при модернизации существующих.

Литература

1. **Чернобровов Н. В., Семенов В. А.** Релейная защита энергетических систем. Учебное пособие. — М.: Энергоатомиздат, 1998.
2. **ГОСТ 7746-2001.** Трансформаторы тока. Общие технические условия. М: Энергия, 2014 — 56 с.
3. **ГОСТ Р МЭК 61869-2-2015.** Трансформаторы измерительные. Часть 2. Дополнительные требования к трансформаторам тока [Электронный ресурс]

*А. А. Юдина, студент;
рук. А. А. Воронин, к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ В ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОМ ТОКОГРАНИЧИВАЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ

При отключении короткого замыкания в электрической сети на контактах коммутационного аппарата непрерывно изменяется напряжение. Динамика его изменения зависит от конструкции коммутационного аппарата, параметров электрической сети, где установлен аппарат. При описания физических явлений в электрической цепи с коммутационным аппаратом применяется математическая модель электрической дуги [1].

Для выборки из 18 наблюдений зависимостей тока и напряжения от времени были проведены расчеты параметров двухпараметрической дуги Майра. Полученные результаты хорошо согласуются с опубликованными ранее положениями по теории восстанавливающегося напряжения на контактах коммутационных аппаратов, что подтверждает работоспособность методики. Моделирование осуществлялось в среде MATLAB. В реальных коммутационных аппаратах необходимо учитывать изменяющиеся геометрические размеры дуги. Целесообразно использовать модель с тремя неизвестными параметрами: величина теплоотвода от единицы поверхности дуги, количество тепла при выносе которого из единицы объема столба или подводе к столбу удельная проводимость изменится в $\epsilon = 2,7$ раз, коэффициент, имеющий размерность удельной проводимости.

В результате проведения испытания токоограничивающего устройства с жидкометаллическим рабочим телом [2] (жидким металлом является эвтектический сплав Ga-In-Sn), в котором дуга в процессе коммутации изменяет свои геометрические размеры: сечение и длину, были получены зависимости тока и напряжения. Исходя из полученных зависимостей тока и напряжения были определены параметры модели дуги, которые использовались при математическом моделировании процессов изменения геометрических размеров дуги в токоограничивающем устройстве, что позволило провести корректировку конструктивных размеров дугогасительной камеры жидкометаллического токоограничителя.

Литература

1. **Воронин А. А., Кулаков П. А.** Математическая модель электрической дуги // Вестник СамГТУ. Сер. «Технические науки», 2012, № 4 (36). — С. 155–162.
2. **Воронин А. А., Иванов Н. А., Казанцев А. А.** Применение жидкометаллического токоограничителя в сетях среднего напряжения // Труды IV международной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи». — Иваново, ИГЭУ — 2015. — Т. 1. — 462 с.

М. М. Закаржаев, асп.; рук. В. В. Жуков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ В СЕТИ 20 КВ С НИЗКООМНЫМ РЕЗИСТИВНЫМ ЗАЗЕМЛЕНИЕМ НЕЙТРАЛИ

Важным вопросом при построении электрической сети 20 кВ является выбор параметров оборудования для заземления нейтрали и схемно-конструкторские решения по его реализации.

Основываясь на опыте проектирования и эксплуатации кабельных сетей 20 кВ во Франции, в качестве стандартного решения при построении сети 20 кВ в Москве было решено подключать в нейтраль сети резисторы сопротивлением 12 Ом и номинальным током 1000 А.

Требования к параметрам заземляющих устройств для сетей с низкоомным резистивным заземлением нейтрали, т.е. с относительно большим током замыкания на землю (до 1000 А), в России не регламентированы.

Поэтому, при проектировании центра питания (ЦП) с низкоомным резистивным заземлением нейтрали, сопротивление заземляющего устройства электроустановок необходимо рассчитывать, основываясь на допустимых нормах напряжения прикосновения.

В соответствии с европейскими нормами по электробезопасности [1], предельно допустимым полагается напряжение прикосновения 80 В при времени отключения 1,7 с и более.

В работе выполнен расчет сопротивления для одного из регионов, в котором электроснабжение обеспечено электрической сетью 20 кВ. Значение сопротивления заземляющего устройства ЦП при времени отключения защиты $t_{033} = 0,7$ с, находим из [1] $U_{пр} = 160$ В, тогда:

$$R_{з\gamma} \leq U_{пр} / I_{033} = 160 / 1000 = 0,16 \text{ Ом. (1)}$$

Показано что, обеспечение данного значения сопротивления заземляющего устройства достигается применением глубинных заземлителей, стоимость которых включая земляные работы для трансформаторной подстанции (ТП) 20/0,4 кВ может существенно сказаться на общей стоимости строительства ТП. Так, для исследуемого региона необходимо дополнительно вбить 20–25 шт. активных электродов из оцинкованной стали длиной 3 и 6 м, а стоимость электродов и земляных работ составит около 3 млн руб. Таким образом, экономически целесообразным представляется рассмотреть уменьшение тока в нейтрали сети 20 кВ.

Литература

1. **European Standard EN 50522 — 2011.** Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c.

К. С. Земба, студ.; рук. В. А. Старшинов, к. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ПГУ В СИСТЕМЕ ПАО «МОСЭНЕРГО»

В настоящий момент актуальной проблемой функционирования ЕЭС России являются слабая управляемость электрических сетей и недостаточный объем устройств регулирования напряжения и реактивной мощности, как следствие этого повышенные до опасных значений уровни напряжения в сетях в периоды сезонного и суточного снижения нагрузки. Для нормализации напряжения персонал электростанций, вынужден переводить синхронные турбогенераторы (СТГ) в режимы потребления реактивной мощности, что позволяет несколько снизить уровень напряжения, но со временем приводит к ускоренному износу этих турбогенераторов, а в ряде случаев и к аварийным отключениям. Одним из способов решения отмеченной проблемы является применение турбогенераторов нового типа — асинхронизированных (АСТГ).

Требуется создание учебно-методических материалов для внедрения в процесс подготовки студентов, что будет способствовать их более успешному изучению ситуации в сфере регулирования активной и реактивной мощности. В учебно-методическом комплексе приведены сведения об особенностях и технической эффективности применения АСТГ [1]. Проведено сравнение областей нормальной работы СТГ и АСТГ. Рассмотрены возможности применения АСТГ в составе ПГУ для регулирования напряжения и улучшения условий работы другого оборудования. Приведен анализ схем ПГУ ведущих производителей работающих в России.

В ходе исследований были подготовлены материалы по следующим разделам:

- Изучение режимов работы СТГ и АСТГ.
- Анализ схем ПГУ используемых в ПАО «Мосэнерго».
- Исследование бесщеточной системы возбуждения с резервированием с помощью ЩКА.
- Сравнение диаграммы мощности СТГ и АСТГ.

Проведенные исследования позволяют технически обоснованно подходить к анализу режимов работы турбогенератора электрической станции в качестве регулировочных элементов энергосистем по активной и реактивной мощности.

Литература

1. **Извеков В. И., Серихин Н. А., Абрамов А. И.** Проектирование турбогенераторов, МЭИ 2005.

Секция 54

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Председатель секции — к.т.н., доцент Т.А. Шестопалова

Секретарь секции — зав. учебной лабораторией Д.Н. Кунакин

А. А. Арсланов, студент; рук. А. Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

Н. В. Алиходжина, студент;

рук. Г. В. Дерюгина, ст. преподаватель, (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ВЕТРА ПО ДАННЫМ ВЕТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА

На ранних стадиях проектирования возникает необходимость пересчета ветровых ресурсов на высоту ветроколеса ветроэлектрической установки. На сегодняшний день в мировой практике отсутствует единая методика пересчета скорости ветра по высоте. Большинство известных в мире математических моделей восстановления данных по ветру основаны на эмпирических формулах и коэффициентах, справедливых только на исследуемой территории [1].

В данной работе для моделирования вертикального профиля ветра (ВПВ) была выбрана степенная зависимость и разработаны 4 модели определения показателя степени от скорости ветра на высоте 10 м. Разработка моделей производилась по рядам метеонаблюдений за скоростью ветра с 10-минутным осреднением в 6 ветроизмерительных комплексов (ВИК) на полуострове Камчатка. Предварительно проведенные исследования не выявили влияния некоторых факторов окружающей среды (порывистость ветра и средняя температура) на показатели степени, и в дальнейшем не учитывались в качестве параметров при разработке математических моделей определения показателя степени.

Оценка применимости разработанных моделей выявила: завышение (занижение) модельных показателей степени относительно расчетных по фактическим данным ВИК — δ_m приводит к пропорциональному завышению (занижению) средних модельных скоростей ветра; существенные ошибки в определении показателя степени (до 100%) приводят к менее существенным ошибкам в определении скорости ветра (до 5%).

Анализ влияния точности разработанных моделей ВПВ на энергетическую эффективность одиночной ВЭУ не выявил зависимости между ошибками в определении показателя степени (δ_m) и ошибками в определении выработки (δ_s), т.к. небольшие значения δ_m приводят как к существенным ошибкам в определении выработки, так и к незначительным.

Литература

1. **А. Г. Васьков и др.** Ветроэнергетика: учебное пособие по курсам «Теоретические основы нетрадиционной и возобновляемой энергетики». Нац. исслед. ун-т «МЭИ». — М.: Изд-во МЭИ, 2016. — 384 с. — ISBN 978-5-7046-1765-5.

*М. С. Богомолова, Н. Д. Карпов, студенты;
рук. Г. В. Дерюгина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ УДЕЛЬНЫХ КАПИТАЛЬНЫХ ЗАТРАТ ВЭС В СОСТАВЕ ВДК НА ТЕРРИТОРИИ КАМЧАТСКОГО КРАЯ

Целью работы является определение основных удельных капитальных затрат по фактическим финансовым моделям 5 ветродизельных комплексов (ВДК): Манилы, Пахачи, Палана, Усть-Камчатск, Усть-Хайрюзово. Расчеты проводились для разного состава ветроэлектрической станции (ВЭС), состоящей из ВЭУ фирмы Komai (Япония) и которую предполагается использовать в качестве базовой ветроэнергетической установки (ВЭУ) на объектах Дальневосточного федерального округа (ДФО).

Капитальные затраты в строительство ВЭС определялись исходя из компоновки ВЭС (модель ВЭУ, единичная установленная мощность ВЭУ, количество ВЭУ), проектно — изыскательных работ, строительно — монтажных работ, а также затрат, связанных с доставкой ВЭУ и специальной техники на площадку строительства ВЭС [1]. Обобщенные зависимости удельных капитальных затрат (евро/кВт) доставки оборудования на площадку строительства ВЭС, строительно-монтажных и проектно-изыскательных работ были получены по данным пяти ВДК в составе с количеством ВЭУ от одного до тринадцати агрегатов фирмы Komai.

Анализ полученных результатов позволил выявить аппроксимирующую зависимость между удельными капитальными затратами ВЭС (Z_{Σ} , евро/кВт) в проект и количеством ВЭУ ($n_{ВЭУ}$, шт.) фирмы Komai: $Z_{\Sigma}=2691,1 \cdot (n_{ВЭУ})^{-0,316}$. Данную зависимость можно использовать для технико-экономического обоснования ВЭС для условий полуострова Камчатка на ранних стадиях проектирования.

Литература

1. **Дерюгина Г. В., Малинин Н. К., Пугачев Р. В., Шестопалова Т. А.** Основные характеристики ветра. Ресурсы ветра и методы их расчета: учебное пособие / — М.: Издательство МЭИ, 2012 г.

*А. В. Бондаренко, студент;
рук. А. В. Стрижиченко, к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Волжском)*

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ГРУНТОВЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ПО СБОРУ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ ГРУНТА

При проектировании и конструировании систем использования низкопотенциальной энергии грунта решение задач оптимизации позволяет достичь наилучшей эффективности использования материальных и энергетических ресурсов. Наиболее универсальным критерием оптимизации является технико-экономический показатель — приведенные затраты:

$$Z_{\text{пр}} = \mathcal{E} + E_{\text{н}} \cdot K \rightarrow \min \quad (1)$$

Тепловой поток грунтового теплообменника, зависит как от его геометрических размеров (диаметр труб, глубины и количества скважин), так и от режима течения рабочего вещества. Поиск оптимальных конструктивных размеров теплообменника является решением поставленной задачи оптимизации. В задаче оптимизируются следующие параметры: — количество скважин k ; — глубина скважины l , м; — внутренний диаметр трубопровода d , мм, при которых обеспечение требуемого теплового потока грунтового теплообменника, будет сопровождаться минимальными эксплуатационными и капитальными затратами. При этом критерий оптимизации имеет следующий вид:

$$K_{\text{опт}} = f(k, d, l) = K_{\text{с}} + K_{\text{тр}} + K_{\text{т}} \quad (2)$$

где: $K_{\text{с}} = f(k, l)$ — учитывает строительные работы; $K_{\text{ктр}} = f(k, d, l)$ — учитывает стоимость теплообменного аппарата; $K_{\text{т}} = f(k, d, l)$ — учитывает стоимость теплоносителя.

Для описания процессов в грунтовом теплообменнике строится математическая модель на основе процессов теплопереноса в аппарате:

$$\begin{aligned} Q &= \alpha \cdot F \cdot \Delta t_{\Gamma}, \\ Q &= G_{\text{м}} \cdot c_{\text{рж}} \cdot \Delta t_{\text{ж}}, \\ Q &= F \cdot \Delta t \cdot R^{-1} \end{aligned} \quad (3)$$

Система уравнений дополняется уравнениями подобия для расчета коэффициента теплоотдачи в зависимости от режима течения потока [1]. На основе полученной модели, для заданных условий работы теплового насоса строится алгоритм и расчетная программа оптимизации.

Литература

1. Юрнев В. Н., Лебедев П. Д. Теплотехнический справочник. Том 2. М.: 1976.

*Ю. В. Даус, студент; рук. И. В. Юдаев, д.т.н., доцент
(АЧИИ ФГБОУ ВО Донской ГАУ, Зерноград)*

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОЙ ФОТОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ОПЛАТЫ ЗА ПОТРЕБЛЕННУЮ ИЗ СЕТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

Анализ опыта использования солнечных электростанций малой мощности выявил, что их применение наиболее перспективно с точки зрения небольших занимаемых площадей и себестоимости вырабатываемой электрической энергии [1]. Исследование заключается в анализе вариантов компоновки фотоэлектростанции с учетом потенциала солнечной энергии района, конструктивных особенностей предполагаемого места ее размещения [2], графика нагрузки потребителя и себестоимости вырабатываемой электрической энергии.

Объектом электроснабжения является система внутрицехового освещения производственного здания Ростовской области. Годовой объем потребляемой электрической энергии: 10275,75 кВт×ч/год. Тариф на оплату за потребленную электрическую энергию составляет $b = 8,18$ руб./кВт×ч.

Исходя из конструктивных особенностей крыши здания (размер — 13×39 м, ориентированная узкой стороной строго на юг и высотой кромки 0,5 м), были рассмотрены 2 варианта компоновки солнечной электростанции фотоэлектрическими панелями: 1 вариант — максимальное использование имеющейся площади установки модулей с учетом условий затенения (2 ряда по 13 модулей); 2 вариант — режим генерации без использования накопителей электрической энергии (табл. 1).

Таблица 1. Техничко-экономические параметры вариантов компоновки станции

компоновка	Куд, \$/кВт	с, руб/кВт·ч	Ток, лет
1 вариант	5839,9	23,32	22,2
2 вариант	2699,7	4,07	10,3

Проводится анализ экономической целесообразности дополнительного электроснабжения потребителя от фотоэлектростанции при росте тарифов на электроэнергию.

Литература

1. **Bidur Raj Gautam, Fengting Li, Guo Ru** Assessment of urban roof top solar photovoltaic potential to solve power shortage problem in Nepal // Energy and Buildings. 2015. Vol. 86. pp. 735–744.
2. **Даус Ю. В., Головинов В. В.** Крышная фотоэлектростанция для электроснабжения системы круглосуточного внутрицехового освещения мельницы // Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 2 (23). С. 265–270.

Энх-Амгалан Ц., студ.; рук. Г. В. Дерюгина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ВАЛОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРА НА ТЕРРИТОРИИ МОНГОЛИИ

В Монголии, дефицит электроэнергии составляет около 20%, который покрывается за счет импорта электроэнергии из России. Снизить величину импорта можно за счет использования местных ресурсов, например, энергии ветра. Для оценки перспективности строительства крупных ветроэнергетических станций

(ВЭС) в Монголии был проведен подробный расчет и анализ ветровых ресурсов на всей территории Монголии по многолетним рядам наблюдений (с 1995 г. по н. в.) 69 наземных метеостанций (МС) с сайта «Погода России» [1], на площадках которых были определены основные энергетические характеристики ветра: среднегоголетние скорости ветра V_0 по территории меняются от 1,16 м/с (МС Гандан Хурии) до 4,98 м/с (МС Мандалгоби); удельные валовые мощности $N_{уд}$ — от 0,03 кВт/м² до 0,25 кВт/м²; коэффициенты вариации C_V от 0,056 до 0,209; повторяемости скоростей и направлений ветра. На основе результатов расчета были построены карты с распределением среднегоголетней скорости ветра (рис. 1), и выявлены наиболее перспективные районы использования энергии ветра на юге и востоке Монголии.

По рассчитанным значениям $N_{уд}$ на площадках 69-и МС был определен валовой потенциал ветровой энергии всей территории Монголии на высоте 10 м — 77692,6 млрд кВт.ч в год.

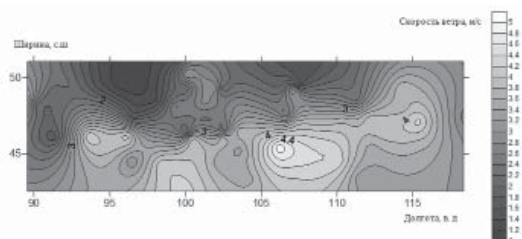


Рис. 1. Карта с изолиниями постоянных значений среднегоголетней скорости ветра на высоте 10 м по территории Монголии

Литература

1. Российский метеорологический сайт «Расписание погоды» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://www.rp5.ru>.

*Ф. В. Молотов, В. Д. Герасимова, студенты;
рук. А. Г. Васьков, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОБЗОР КОСМИЧЕСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Непостоянство солнечной радиации и сравнительно небольшая ее интенсивность, приводят к тому, что строительство наземных солнечных электростанций требует затраты больших площадей для размещения на ней поля гелиостатов, аккумулятора и других сооружений.

Возможно получать чистую энергию, собирая ее с помощью солнечных панелей на спутниках в космосе и отправляя вниз на Землю [2]. Солнце излучает фотоны, во всех направлениях. Плотность потока энергии составляет около $1,4 \text{ кВт/м}^2$. Сконцентрированная на спутнике солнечная энергия после преобразования в электрическую через специальную антенну узким пучком в микроволновом диапазоне электромагнитного излучения с частотой 2,4–2,5 ГГц передается на Землю [1]. На Земле излучение принимается специальной антенной — ректенной, и после преобразования в переменный ток поступает в энергосистему.

Мощный пучок радиоволн можно отправить в любое место на Земле, так как направление пучка можно изменить с помощью метода под названием «ретродирективное управление лучом». Достаточно отправить «пилотный сигнал» из центра принимающей станции. Спутник принимает сигнал и перенастраивает передатчик радиоволн на земную станцию.

Преобразовывать солнечную энергию в электрическую можно двумя способами. Первый из них основан на использовании любых полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей. Второй способ может быть осуществлен на основе любых известных преобразователей тепловой энергии. Основными достоинствами этих преобразователей являются более высокий КПД (до 40%).

Какой из указанных двух методов преобразования является предпочтительней, сейчас сказать нельзя. Необходимо дальнейшее совершенствование производства батарей и их конструкций.

Литература

1. **В. И. Виссарионов**, Солнечная энергетика, — М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. <https://hi-news.ru/science/kak-budut-rabotat-kosmicheskie-solnechnye-elektrostantsii.html>

А. О. Громова, студ.; рук. В. А. Кузнецова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛИЦ

Введение с 2014 г. продуктового эмбарго в России послужило сильным толчком к развитию сельского хозяйства. Круглогодичное выращивание овощей на большей части территории нашей страны возможно только в условиях закрытого грунта. Ввод новых производственных мощностей осуществляется за счет строительства теплиц так называемого пятого поколения, которые помимо более эффективных конструктивных решений предполагают высокую автоматизацию всех технологических процессов с использованием энергоемкого оборудования.

В связи с этим перед современными тепличными хозяйствами остро встает вопрос повышения энергоэффективности для снижения топливных затрат при автономной генерации, а, соответственно, и себестоимости продукции. Одним из возможных вариантов решения является выработка электрической и тепловой энергии на базе возобновляемых источников [1].

В данной работе проводится исследование графика нагрузки промышленной теплицы с учетом современного подхода к выращиванию наиболее популярных культур и применения новейшего оборудования. Рассматриваются варианты выравнивания графика нагрузки при полном обеспечении потребностей основного технологического процесса.

На примере автономной промышленной теплицы площадью 10000 м² проводится расчет площади солнечной фотоэлектрической установки (СФЭУ), необходимой для покрытия заданной доли нагрузки или эквивалентной ей экономии топлива. Помимо этого, исследуется целесообразность размещения солнечных модулей на крыше теплицы и использование технологии тонких пленок на всех стеклянных поверхностях конструкции, производится оценка влияния этих энергетических установок на технологический процесс. В качестве резервного источника энергии рассматриваются дизельные энергоустановки, а также анализируется вариант использования аккумуляторных батарей для перераспределения выработки СФЭУ в течение суток.

На основании экономического расчета делается вывод об эффективности предлагаемых решений.

Литература

1. **Амерханов Р. А.** Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии. М.: КолосС, 2003.

*А. А. Ибадов, магистрант;
рук. А. Е. Кондратьев, к. т. н., доц. (КГЭУ, Казань)*

ВНЕДРЕНИЕ АНАЭРОБНОЙ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ В СИСТЕМУ МОЛОЧНОГО КОМБИНАТА

При рассмотрении развития традиционных источников энергетики, наблюдаются отрицательные тенденции, связанные, в первую очередь, с наличием таких негативных факторов, как быстрое истощение ископаемых ресурсов, а так же, загрязнением окружающей среды.

Определение целесообразных условий применения типовых биореакторов, создание новых конструктивных разработок посредством технических решений по поддержанию высокой производительности получения биогаза требуют проведения обширных исследований. Все это позволит выявить приоритетные тенденции совершенствования биогазовых установок, развивая в необходимом направлении, что впоследствии повлияет на темпы их внедрения в молочную промышленность.

При анаэробном методе очистки отходов молочного комбината снижается как нагрузка на окружающую среду, вызванную избытком образующейся сыворотки, так и уменьшаются связанные с этим платежи за загрязнения и в значительной мере потребность в энергии. Вырабатываемый биогаз возможно использовать для производства пара, который применяют для технологического процесса, при этом затраты на топливо для молокоперерабатывающего завода будут сокращаться.

При рассмотрении использования биогазовой установки, работающей на отходах молочного производства, были затронуты вопросы перспективности развития биогазовых установок и состояния применения в современности, основные моменты и экологические аспекты внедрения биоэнергетики.

В ходе работы затрагивалась тема использования конечного продукта анаэробного брожения биомассы, а также отрицательные характеристики биоэнергетических установок, сконструированных по классической схеме.

Во время выполнения работы была запроектирована биогазовая установка, использующая в качестве биомассы, отходы молочного производства и стоки молкомбината. Подсчитан экономический эффект использования биогазовой установки для молочного комбината г. Казань.

Расчеты показали, что при применении анаэробной очистки сточных вод от производства молочной продукции наблюдается экономия традиционного топлива. Продажа биоудобрения и товарного биогаза позволит получить прибыль.

*О. В. Калинина, студ.;
рук. П. И. Лазаренко, к.т.н. (НИУ «МИЭТ», Зеленоград)*

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР СО СВЕРХТОНКИМ ПОГЛОЩАЮЩИМ СЛОЕМ НА ОСНОВЕ Ag_2S

С каждым годом объемы производства фотоэлектричества возрастают. Снизить стоимость вырабатываемой фотоэлектроэнергии возможно за счет перехода от кремниевых солнечных элементов к менее дорогостоящим стабильным твердотельным структурам со сверхтонким поглощающим слоем (ETA-cell). Ячейки ETA представляют собой р-і-п-структуру, где поглощающий і-слой расположен между наноструктурированным слоем п-типа и сплошным слоем р-типа. Под воздействием света в і-слое генерируется электронно-дырочная пара, а прилегающие к поглощающему слою полупроводники р и п-типа обеспечивают эффективное разделение носителей заряда.

Целью работы было изготовление и исследование ETA ячеек со сверхтонким і-слоем из Ag_2S , активно использующимся в качестве барьерных слоев в детекторах видимой и ближней ИК-области спектра [1].

Для создания элементов ETA использовались проводящие стекла со слоем FTO. На стекло с FTO наносился наноструктурированный слой TiO_2 , выступающий в качестве полупроводника п-типа. После осаждался і-слой Ag_2S с использованием метода молекулярного наслаивания (SILAR). Далее наносился слой полупроводника р-типа методом пропитки висячей каплей, где им выступает CuSCN . В завершение формировались Ni контакты.

Для оценки работы сформированных ячеек ETA были проведены измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) при освещении светом, соответствующим АМ 1,5. Анализ полученных ВАХ позволил определить зависимости влияния технологических параметров формирования слоев ячеек ETA на напряжение холостого хода, ток короткого замыкания, максимальную вырабатываемую мощность, фактор заполнения и коэффициент полезного действия (КПД). Определенные зависимости позволили провести оптимизацию процесса получения Ag_2S методом SILAR и повысить КПД формируемых ячеек ETA.

Литература

1. L. Zhengcao, X. Shan, W. Guojing, X. Zheng, Z. Zhengjun. Role of Ag_2S coupling on enhancing the visible-light-induced catalytic property of TiO_2 nanorod arrays // A NATURE RESEARCH JOURNAL. — 2016. — № 1. P. 1–7.

Н. Д. Карпов студент; рук. Г. В. Дерюгина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ ВЭУ ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИИ ВЭУ

В процессе эксплуатации ветроэлектрических установок (ВЭУ), ветроэлектрических станций (ВЭС) или ветродизельных комплексов (ВДК) важное значение приобретает оценка потенциальной выработки ВЭУ и ее сравнение с проектными и фактическими показателями выработки электроэнергии (ЭЭ). В работе приведены разработанные авторами рекомендации по оценке потенциальной выработки ВЭУ, выявленные в результате сопоставления фактической выработки ВЭС на примере ВЭС в п. Усть-Камчатск, состоящей из 3-х ВЭУ Komai KWT300 с выработкой, рассчитанной различными способами.

Выработка ЭЭ рассчитывалась следующими способами: по эмпирической зависимости $N_{ВЭУ}(V_{за_ВК})$, где $N_{ВЭУ}$ — активная мощность ВЭУ (кВт), $V_{за_ВК}$ — скорость ветра за ветроколесом (ВК); по паспортной характеристике ВЭУ с учетом пересчета $V_{за_ВК}$ по коэффициентам, предоставленными производителем; по паспортной характеристике ВЭУ с учетом пересчета $V_{за_ВК}$ по осредненным коэффициентам, разработанными авторами [1]. Недостатком последнего способа является возможность восстановления коэффициентов пересчета только до расчетной скорости ветра ВЭУ. При скорости ветра за ВК более 10,5 м/с в расчетах использовались коэффициенты, рекомендованные производителем ВЭУ, которые не оказывают существенного влияния на ошибку определения выработки за весь период. Это связано с тем, что повторяемость наблюдений скорости за ВК более 10,5 м/с составляет не более 5%.

Точность определения потенциальной выработки ЭЭ ВЭУ и ВЭС различными способами определялась сопоставлением с фактическими показателями выработки ЭЭ ВЭУ и ВЭС, зафиксированными в архиве SCADA ВЭС, в виде относительного отклонения. В результате проделанной работы было выявлено, что рекомендованные производителем ВЭУ коэффициенты пересчета скорости ветра приводят к заниженной оценке потенциальной выработки ЭЭ ВЭС до 20%; разработанные авторами коэффициенты позволяют снизить ошибку определения выработки ВЭУ и ВЭС в целом до 2-х %.

Литература

1. **Васьков А. Г., Дерюгина Г. В., Малинин Н. К., Пугачев Р. В.** Ветроэнергетика // М.: Издательство МЭИ, 2016.

*О. И. Кольцун, М. А. Спиридонова, студенты;
рук. А. Г. Васьков, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РЕГУЛЯТОР СКОРОСТИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ НА ГЭС

Регулятор частоты вращения (РЧВ) гидротурбины предназначен для регулирования скорости вращения гидроагрегата, предотвращения недопустимого повышения давления в водоводах и недопустимых забросов скорости вращения турбины при сбросах нагрузки. Устройство содержит датчик частоты вращения, датчик ускорения, интегратор, механизм управления, датчик обратной связи положения штока сервомотора, выходы которых комбинируются на сумматоре, усилитель и распределительный золотник. В настоящее время имеется большое количество РЧВ турбин. Можно выделить несколько типов возможного построения регуляторов: это регуляторы по скорости, пропорционального управления, регуляторы по скорости и ускорению, пропорционально-дифференциального управления, регуляторы с воздействием по интегралу, интегрального управления.

В работе проведено моделирование логики направляющего аппарата. В качестве исходных данных берутся характеристики и оборудование Загорской ГАЭС. Принято, что в состав системы регулирования агрегата входят [1]: электрогидравлический регулятор скорости с пропорциональным золотником прямого действия на базе ЭГР-10-8, маслonaпорная установка МНУ 20-2/63-3, промежуточный сервомотор, система управления индивидуальными сервомоторами, механизм обратной связи. Для контроля положения сервомоторов, давления масла на открытие и закрытие сервомоторов, уровня и давления масла в аккумуляторах МНУ, уровня масла в сливном баке МНУ установлен комплекс датчиков и технические манометры.

В качестве программной среды для моделирования математической модели выбран MatLab и набор библиотек: Simulink и SymPowerSystem [2]. Данное решение позволяет проводить различные опыты в зависимости от того, какие входные характеристики подаются на модель. Проведен ряд исследований по функционированию данной матмодели, получены все необходимые характеристики. Полученные данные при работе с моделью показали, что она правильно функционирует с разными входными характеристиками, а именно выдает верные управляющие воздействия на лопатки для поддержания необходимой частоты вращения турбины.

Литература

1. **Крымов В. А.** Инструкция по эксплуатации гидромеханического оборудования Загорской ГАЭС.
2. **Черных И. В.** Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. 1-е издание, 2007.

П. В. Крапивко, студ.; рук. А. Г. Васьков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАССМОТРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В СИСТЕМАХ ВЛАЖНО-ПАРОВЫХ МИКРОТЭЦ

Вопрос распределенной генерации остро стоит в условиях современной энергосистемы России. С внедрением энергоустановок на основе ВИЭ, стало возможно добиваться снижения затрат на ископаемые виды топлива, особенно в локальных энергосистемах и снабжении автономных потребителей.

В работе исследуется эффективность применения солнечных коллекторов в системах влажно-паровых микро-ТЭЦ, как одного из источников распределенной генерации.

Большинству объектов децентрализованного энергоснабжения зачастую требуется как электрическая, так и тепловая энергия. Совместив солнечную энергетику и турбину для работы на паре (микро-ТЭС) можно добиться эффективности при значительной экономии невозобновляемых источников энергии [1]. Со стороны солнечной энергетики рассматривается работа солнечных коллекторов для подогрева теплоносителя до рабочих параметров для турбины или для аккумуляции тепловой энергии в накопителе. Вакуумные солнечные коллекторы с термотрубками способны разогреть теплоноситель до 250–380°C, что вполне достаточно для работы микро-ТЭЦ.

В ходе работы проведен расчет теоретического и технического потенциала системы с использованием онлайн-калькулятора свойств воды и водяного пара кафедры ТВТ МЭИ [2]. А также, смоделирована работа потенциальных потребителей электрической и тепловой энергии, получаемых в результате работы данной системы с использованием микро-ТЭЦ электрической мощностью 5 кВт.

В результате получен ряд значений, основными из которых являются:

- 1) Теплота, отдаваемая конденсатором микро-ТЭЦ (Q , Гкал/час):

$$Q = 0,9 \text{ Гкал/час.}$$

- 2) Расход пара на турбину (G_n , т/ч):

$$G_n = 0,47 \text{ т/ч.}$$

Исходя из этих параметров, возможно рассчитать требуемую площадь вакуумных солнечных коллекторов и моделировать параллельную работу солнечных коллекторов, бака-накопителя и микро-ТЭЦ.

Литература

1. **Даффи Дж., Бекман У.** Основы солнечной теплоэнергетики. Изд. дом Интеллект, 2013.
2. Онлайн-калькулятор свойств воды и водяного пара кафедры ТВТ МЭИ <http://tw.t.mpei.ru/MCS/Worksheets/rbtpptab3.xmcd>

С. К. Кыянов, студ.; рук. М. Г. Тягунов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕК ДЖЕТЫ-ОГУЗ И ЧОН КЫЗЫЛ-СУУ

Объектом работы является оценка эффективности комплексного использования рек Джеты-Огуз и Чон Кызыл-Суу, Кыргызской Республики. Большая часть бассейна рек расположена в горной области, наиболее возвышенная часть которой (выше 3000 м) служит естественным аккумулятором влаги, в виде «вечных» снежников, ледников и сезонного снега, являющихся источниками питания хорошо развитой речной сети. Реки региона имеют ледниково-снеговое питание. Половодье на этих реках растянуто на весь теплый период, продолжительность — 170–180 дней.

Целью данной работы является максимальное использование водных ресурсов рек для целей орошения, водоснабжения и энергетики. При решении задачи необходимо определить оптимальный график полива, место расположения ирригационного сооружения и оценить эффективность установки на нем гидроэнергетического оборудования.

При выполнении работы был проведен расчет годового и внутригодового водо- и энергопотребления, выбор размещения сооружений и распределение воды между водопотребителями [1].

Предполагается разместить на первой реке водохранилище ирригационного назначения и гидроэнергетическое оборудование, а на второй реке водозаборы для водоснабжения и орошения [2].

При размещении гидроэнергетического оборудования, использующего регулирующие возможности водохранилища ирригационного назначения, выполнен выбор энергетического оборудования, расчет параметров главной схемы электрических соединений и показана эффективность комплексного использования водных ресурсов рассмотренных рек для нужд ирригации и энергетики [3].

Литература

1. **Иванова Н. И.** Методические указания по выполнению курсового проекта «Комплексное Использование Водных Ресурсов Бассейнов Малых Горных Рек».
2. **Околович М. Н.** Проектирование электрических станций. М: Энергоиздат, 1982 — 400 с.
3. **Неклепаев Б. Н., Крючков И. П.** Электрическая часть электростанций и подстанций. М.: Энергоатомиздат 1989 — 608 с.

Б. М. Максатов, студ.; рук. Г. В. Дерюгина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В КИРГИЗИИ НА ОСНОВЕ ВЕТРА

Несмотря на огромные запасы водных ресурсов, а именно ледников (155 млрд. кВт×ч), в Киргизии суммарная выработка составляет лишь 10% (15 млрд. кВт×ч) в год. К сожалению, Киргизия не имеет возможности строить гидроэлектростанции по двум главным причинам: политическим и экономическим. Так как потребление электроэнергии растет, а мощности остаются те же, то одним из лучших выходов является развитие возобновляемых источников энергии на основе ветра и солнца.

Для оценки перспективности строительства крупных ветроэлектрических станций (ВЭС) в Киргизии был проведен подробный расчет и анализ ветровых ресурсов на всей территории Киргизии по многолетним рядам наблюдений (с 1995 г. по н. в.) 20 наземных метеостанций (МС) с сайта «Погода России» [1], на площадках которых были определены основные энергетические характеристики ветра: среднемноголетние скорости ветра V_0 по территории меняются от 0,2 м/с (МС Кербен) до 3,9 м/с (МС Иссык-Куль); удельные валовые мощности $N_{уд}$ — от 0,01 кВт/м² до 0,4 кВт/м²; коэффициенты вариации C_V от 0,056 до 0,209; На основе результатов расчета была выбрана Иссык-Кульская область, район Балыкчы, где расположена МС Иссык-Куль.

Литература

1. Российский метеорологический сайт «Расписание погоды» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://www.rp5.ru>.

*А. О. Михайлова, студент;
рук. М. Г. Тягунов, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ СПОСОБОВ КОМПЕНСАЦИИ ЗАТРАТ ПРИ РАБОТЕ ЗАГОРСКОЙ ГАЭС-2

Необходимость строительства гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС) в Центральном регионе России, где преобладают маломаневренные тепловые и атомные электростанции, обусловлена дефицитом маневренных мощностей [1]. По оценке Системного оператора этот дефицит в Центральном регионе России составляет более 3,0 млн кВт, в том числе в Москве и Московской области — около 2 млн кВт. Примерный суточный график нагрузки показан на рис. 1.

В часы, когда в энергосистеме избыток электрической энергии, гидроагрегаты ГАЭС работают в качестве насосов, а когда в энергосистеме образуется дефицит генерирующей мощности — в качестве генераторов [2].

Загорская ГАЭС-2 строится для частичного решения проблемы дефицита маневренной регулирующей мощности и предупреждения аварийных ситуаций.

В свою очередь, для обоснования инвестиций в ГАЭС следует изучить возможность оценки эффективности того или иного проектного решения не с точки зрения прибыли от продажи электроэнергии потребителям, а перейти к использованию метода сравнительной эффективности. Исследование заключается в сравнении и анализе различных способов компенсации затрат при работе ГАЭС.

Расчеты затрат при замещении выработки энергии на тепловой станции показывают, что эффективность работы Загорской ГАЭС-2 в качестве системного накопителя энергии, позволяющего не отключать маломаневренные тепловые и атомные энергоблоки, может быть значительно выше, чем эффект использования ее работы в различных зонах многоставочного тарифа.

Это значит, что существующий способ оценки эффективности работы ГАЭС не в полной мере отражает системный эффект ГАЭС.

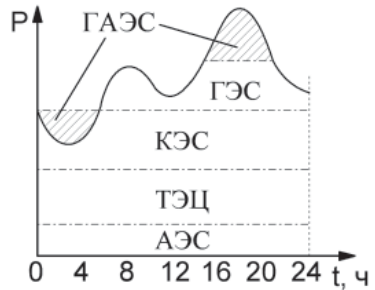


Рис. 1. Примерный суточный график нагрузки современной мощной энергосистемы

Литература

1. Синюгин В. Ю., Магрук В. И., Родионов В. Г. Гидроаккумулирующие электростанции в современной электроэнергетике. М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2008.
2. Серебряников Н. И., Магрук В. И., Родионов В. Г. Гидроаккумулирующие электростанции. Строительство и эксплуатация Загорской ГАЭС. М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2000.

*Ф. В. Молотов, Н. В. Вилонов, студенты;
рук. А. Г. Васьков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ ПО РАБОТЕ НА ЛАБОРАТОРНОМ КОМПЛЕКСЕ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С ВИЭ»

Организация бесперебойного энергоснабжения объектов различного назначения сопряжена с большими трудностями, обусловленными значительными затратами на строительство распределительных сетей низкого напряжения и обеспечения их безаварийной работы. Решить проблему в ряде случаев представляется возможным за счет применения микросетей на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1]. Для моделирования процессов, происходящих в микросетях, используется оборудование лаборатории ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» кафедры «Гидроэнергетики и ВИЭ». На следующих установках создается комплекс лабораторных работ:

1. Модель ветроэнергетической установки с асинхронным генератором.
2. Модель гидроаккумулирующей электростанции с синхронным генератором.
3. Модель объединенной энергетической системы (ОЭС).
4. Модель потребителей электроэнергии.
5. Модель солнечной энергетической установки (СЭУ).

Целями лабораторной работы являются исследования режимов работы сетевой солнечной электростанции (СЭС), объединенной энергетической системы (ОЭС) и потребителей. Эти установки объединяются в общую сеть с помощью секционных выключателей и разъединителей, которыми можно управлять на мнемосхеме и вручную. Данная система работает по алгоритму поддержания баланса мощности (1):

$$P_{\text{потр}} = P_{\text{оэс}} + P_{\text{сэс}} + \Delta P, \quad (1)$$

где $P_{\text{потр}}$, $P_{\text{оэс}}$, $P_{\text{сэс}}$, ΔP — соответственно мощности потребителя, ОЭС, СЭС и потеря.

В работе производится изменение интенсивности излучения солнца в соответствии с суточным и годовым графиками солнечного излучения, изменение нагрузки на потребителях в течение суток, производится расчет КПД инвертора и проверка баланса мощности по показаниям приборов.

Сейчас производится доработка лабораторных работ на остальных установках лаборатории. Планируются работы, моделирующие микросеть.

Литература

1. **В. А. Гусаров, Д. С. Стребков, В. В. Харченко** Энергоснабжение сельских территорий с помощью микросетей на основе возобновляемых источников энергии. Москва, Всероссийский Институт Электрификации Сельского Хозяйства // «Энергетика и автоматика», № 3, 2013 г., с. 72

*М. А. Никишев, студ.;
рук. В. А. Кузнецова, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОПРЕСНЕНИЯ ВОДЫ И ПОСЛЕДУЮЩИМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В ЗАСУШЛИВЫХ РАЙОНАХ ПОЛУОСТРОВА КРЫМ

После перекрытия Северо-Крымского канала в 2014 году на полуострове возникла проблема дефицита пресной воды. Одним из возможных решений является опреснение морской воды. Наиболее перспективным на данный момент является метод обратного осмоса, который обладает такими преимуществами, как уменьшенная энергозатратность и высокая скорость опреснения [1].

В докладе рассматривается энергокомплекс для электроснабжения водоопреснительной установки, обеспечивающей полив 1 гектара виноградника вблизи города Евпатория на п-ове Крым. В состав энергокомплекса входят: опреснительная установка, солнечные батареи, инвертор, дизельный генератор, аккумуляторные батареи, насос для полива и резервуар для хранения пресной воды.

В рамках данной работы проводится поиск оптимальной структуры и параметров энергокомплекса [2], с целью уменьшения затрат.

Анализ данных показал, что переход от полива по бороздам (распространенный на полуострове) к капельному поливу позволит увеличить урожайность в 1,26 раз (до 11,52 т/га), а оросительную норму снизить в 3,25 раз (до 646 м³/га).

Расчет параметров и режимов различных вариантов структурной схемы [2] привел к выводу, что чем меньше производительность опреснительного оборудования, тем меньше солнечных панелей нужно для его работы, при этом увеличивается продолжительность работы солнечной установки. Увеличение числа солнечных панелей приводит к уменьшению следующих показателей режима работы резервного генератора: затраты топлива, время работы и долю выработки электроэнергии. В итоге 23 солнечные панели позволяют сократить расход топлива в 4 раза до 60 л/год и обеспечить полноценный поливной сезон.

Литература

1. **Мосин О. В.** «Физико-химические основы опреснения морской воды» // *Сознание и физическая реальность*, 2012, № 1, с. 19–30.
2. **Виссарионов В. И., Дерюгина Г. В., Кузнецова В. А., Малинин Н. К.** «Солнечная энергетика», Издательский дом МЭИ, 2008

*М. А. Никишев, студ.;
рук. В. А. Кузнецова, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»)*

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ, ВХОДЯЩЕЙ В СОСТАВ ЛОЭС ПАЛАНА

Поселок городского типа Палана, находящийся в Камчатском крае, изолирован от ОЭС Востока. Поэтому его энергоснабжение обеспечивается дизельной электростанцией ($N_{уст}=5800$ кВт), топливо для которой доставляется морским путем. Целью работы является технико-экономическое обоснование замещающей ветровой электростанции.

В процессе работы были решены следующие задачи:

- расчет характеристик ветра для расчетного года [1];
- выбор модели вертикального профиля ветра [1];
- выбор площадки для размещения ветровой электростанции;
- определение оптимального состава ветродизельного энергокомплекса по предварительно выбранным турбинам;
- расчет финансовой эффективности энергоэффективных вариантов ветровой электростанции;
- уточнение показателей энергоэффективности выбранного варианта ветровой электростанции;
- обоснование схемы размещения ветроэлектрической установки на площадке ветровой электростанции [1].

Проделанные расчеты позволили сделать следующие выводы.

Так как город находится в долине окруженной горами, то скорость ветра оказалась не очень высокой, что компенсируется увеличением высоты башни ветроэнергетической установки до 75 м. Большая часть этой долины — это болотистая местность, но в 1 км от поселка есть заброшенная взлетная полоса с обширной прилегающей территорией, где можно разместить ВЭС.

По критерию наибольшего коэффициента использования установленной мощности для рассмотрения были отобраны следующие установки: Directwind 500/52, Norwin 47-500, Gamesa 850.

При расчете оптимального состава ветродизельного энергокомплекса и финансовой эффективности оказалось, что оптимальным является состав из трех установок Directwind 500/52 с простым сроком окупаемости 7 лет и дисконтированным — 15 лет.

Литература

1. Дерюгина Г. В., Малинин Н. К., Пугачев Р. В., Шестопалова Т. А. Основные характеристики ветра. Ресурсы ветра и методы их расчета: учебное пособие/ — М.: Издательство МЭИ, 2012 г.

М. М. Николаева, студ.;
рук. М. Г. Тягунов, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОТИВОПАВОДОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА РЕКЕ АМУР

Важнейшей особенностью реки Амур является резкие колебания уровня воды, обусловленные муссонным климатом. Река имеет наибольшую водность в летне-осенний сезон, на этот период приходится большая часть годового стока. Таким образом, бассейн Амура является паводкоопасным районом.

По оценкам ОАО «РусГидро», Зейское и Бурейское водохранилища аккумулировали более 50% воды, поступившей в них за время паводка 2013 года. Водохранилища повлияли на высоту паводка только на участках Амура непосредственно после впадения в него рек Зeya и Бурей. На обширных территориях бассейна ниже впадения этих рек изо дня в день продолжали выпадать непрерывные дожди. Сотни малых рек и крупнейшие притоки — реки Сунгари и Уссури — несли огромные массы воды в Амур, что вызвало небывалые по высоте и продолжительности затопления участков нижнего Амура. [1] В связи с этим, для уменьшения угрозы наводнений возникает необходимость сооружения новых водохранилищ на притоках реки Амур.

Наиболее перспективными являются строительство энергетических гидроузлов. Помимо выполнения функции защиты территории от наводнений, предлагаемые гидроузлы могут генерировать электроэнергию и мощности для объединенной энергосистемы Востока и для экспорта.

Гидроэлектростанции — чрезвычайно капиталоемкие объекты. Требуются большие капитальные вложения на длительные сроки. [2] Следовательно, проект строительства гидроэлектростанции должен быть подвергнут оценке эффективности.

В данной работе рассматривается оценка возможности реализации проекта строительства комплекса аналогичных гидроэлектростанций на притоках реки Амур. Эффективность проекта оценивается по следующим показателям: чистый дисконтированный доход, внутренняя норма доходности, срок окупаемости.

Литература

1. **Данилов-Данильян В., Гельфан А.** Катастрофа национального масштаба // *НиЖ*. 2014. № 1.
2. *Гидроэнергетика: учеб. пособие / Т. А. Филиппова, М. Ш. Мисриханов, Ю. М. Сидоркин, А. Г. Русина.* — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013.

*Х. Ф. Р. Пеньюела, студ.;
рук. Г. В. Дерюгина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ВАЛОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРА НА ТЕРРИТОРИИ КОЛУМБИИ

Современный топливно-энергетический комплекс Колумбии характеризуется:

- наличием объединенной энергосистемы, обеспечивающей электроэнергией (ЭЭ) 96% [1] населения страны.
- 70% выработки ЭЭ за счет ГЭС и малые ГЭС.
- наличием удаленных изолированных потребителей (большая доля территории с мало населенными пунктами).
- устаревшим оборудованием на существующих ТЭС (работающие на каменном угле).
- развитием своего огромного энергетического потенциала на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), содержащегося в энергии воды, ветра и солнца.

Для оценки перспективности использования ветроэлектрических станций (ВЭС) в Колумбии был проведен расчет основных энергетических характеристик ветра на территории страны по многолетним данным наблюдений за скоростью и направлениями ветра на 28 наземных метеостанциях (МС) [2]. Анализ полученных результатов выявил: среднемноголетние скорости ветра V_0 по территории меняются в диапазоне от 0,6 м/с до 4,8 м/с; удельные валовые мощности $N_{уд}$ по территории меняются в диапазоне от 0,01 кВт/м² до 0,18 кВт/м². Также на площадках 21 МС были рассчитаны многолетние повторяемости скорости $t(V)$ и направлений ветра. По полученным результатам были построены карты распределения среднемноголетней скорости ветра и ее удельной мощности по всей территории Колумбии. По карте были определены наиболее перспективные площадки для размещения ВЭС, расположенные вблизи МС: «Сан андрес», «Барранкилья», «Риоача», «Вальедупар» и «Кукута». Все ранее перечисленные МС расположены в больших городах, обладающих перспективами быстрого развития. По рассчитанным значениям $N_{уд}$ на площадках 28-и МС был определен валовой потенциал ветровой энергии всей территории Колумбии на высоте 10 м — 1659,83 кВт.ч в год.

Литература

1. Сайт центра информации Колумбийского министерства Энергетики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.upme.gov.co>
2. Российский метеорологический сайт «Расписание погоды» [Электронный ресурс]. URL: <https://rp5.ru/>

*К. Д. Розникова, студ.; рук-ли С. В. Васильев, к.т.н., доц.;
А. В. Банников, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ОТНОСИТЕЛЬНО г. ИВАНОВО

Перспективным и актуальным в современной энергетике является использование нетрадиционных и возобновляемых ресурсов. Гелиоэнергетика — одна из важнейших отраслей данной области, т. к. является сферой значимых капиталовложений в условиях уменьшения запасов ископаемого топлива. Влияние на показатели эффективности работы солнечного коллектора при заданной локации оказывают следующие факторы: конструктивное исполнение коллектора, время года, угол наклона панели, скорость движения теплоносителя и другие. Применения общих параметров настройки для получения максимальной эффективности от использования солнечной энергии в каждом конкретном случае добиться невозможно.

Одним из способов решения данной проблемы авторами предлагается математическая модель зависимости КПД солнечного коллектора при влиянии на него всех вышеперечисленных факторов в отдельности. Все расчеты основываются на положениях для коллекторов различной конструкции, приведенных в [1].

Пример изменения КПД установки при переменном угле наклона панели представлен на рис. 1.

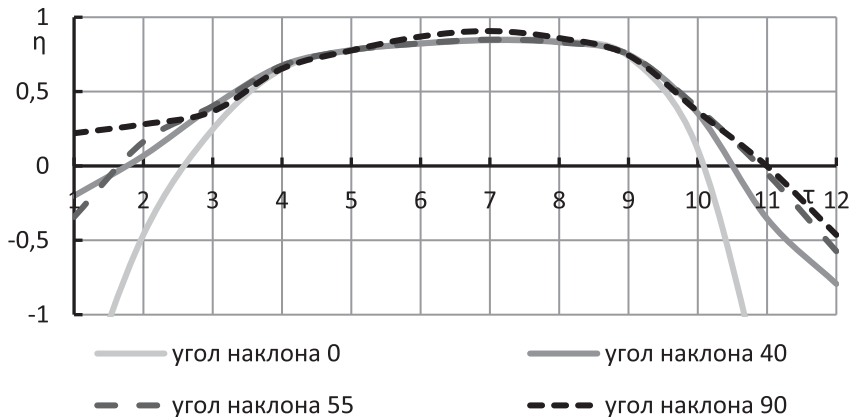


Рис. 1. Пример изменения КПД установки при влиянии угла наклона панели

Литература

1. Даффи Дж., Бекман У. Основы солнечной теплоэнергетики. Долгопрудный: Интеллект, 2013

А. И. Широкова, студ.; рук. Р. С. Цгоев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА НАКЛОНА ГЕЛИОСТАТА

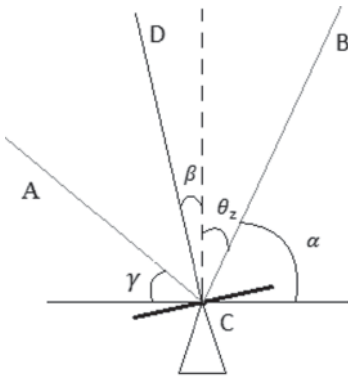


Рис. 1. Модель гелиостата

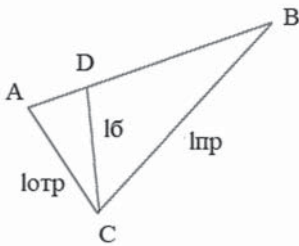


Рис. 2. Модель башенной СЭС

Целью работы является определения наиболее эффективного способа расчета угла наклона гелиостата, используемого на термодинамических СЭС, для каждого часа.

Для сравнения были выбраны два метода:

1. Метод, основанный только на углах падения и склонения Солнца над горизонтом.

Угол наклона гелиостата равен:

$$\beta = \frac{180 - \alpha - \arccos \frac{l_{отр}}{l}}{2} - 90 + \alpha,$$

где α — угол высоты Солнца над горизонтом [1].

2. Метод, основанный на расстояниях, пройденных прямой и отраженной солнечной радиацией и углах отражения.

Пусть сторона $AC = l_{отр}$, а сторона BC равна расстоянию от Земли до Солнца или $l_{пр}$ (рис. 1). Сторона AB так же будет равна расстоянию $l_{пр}$.

Получаем равнобедренный треугольник ABC , в котором CD — биссектриса угла ACB (рис. 2).

Угол отражения ACD :

$$\angle ACD = \arccos \left(\frac{\sqrt{l_{пр}(2l_{пр} + l_{отр})}}{2l_{пр}} \right) = \arccos \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right)$$

Тогда угол наклона гелиостата:

$$\beta = \angle ACD - \theta_z = \angle ACD - 90 + \alpha = \arccos \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right) - 90 + \alpha,$$

где α — угол высоты Солнца над горизонтом [1].

Значения в первом методе ровно в два раза меньше и наиболее приближены к реальным, за счет использования в расчетах лишь углов наклона. В то время как во втором методе задействованы расстояния, которые из-за значительных величин дают менее точные результаты.

Следовательно, для настройки позиционирования зеркал нужно пользоваться методом, основанном только на углах падения и склонения Солнца над горизонтом.

Литература

1. Виссарионов В. И., Дерюгина Г. В., Кузнецова В. А., Малинин Н. К. Солнечная энергетика. Учебное пособие для вузов / Под ред. В. И. Виссарионова. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

*М. А. Спиридонова, О. И. Кольцун, студ.;
рук. А. Г. Васьков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВОДОВОДЕ ГЭС И ГАЭС

Гидроэлектростанции позиционируются высокоманевренным элементом энергосистемы, выдаваемая мощность которых часто меняется в соответствии с требованиями системного оператора. Поэтому гидромеханические переходные процессы — частое явление при эксплуатации станций.

Уменьшение или увеличение мощности осуществляется за счет изменения открытия направляющего аппарата (НА), что позволяет менять расход воды через гидротурбину. При этом необходимо учитывать возникающий гидравлический удар, способный влиять на величину напора.

От величины напора зависят вращающий момент гидротурбины и скорость вращения ГА, а также давление в напорном водоводе. Возможны два случая: 1) увеличение напора приведет к увеличению давления — возрастет механическое воздействие на гидроагрегатный блок; 2) уменьшение напора приведет к уменьшению давления — интенсивно проявится явление кавитации. Оба варианта приводят к ускоренному износу гидромеханического оборудования.

Разработана модель гидроагрегата (ГА), учитывающая характеристики гидроагрегатного блока и характер процесса изменения открытия НА во времени.

В основе математической модели лежит уравнение движения ГА:

$$J \cdot \frac{dn}{dt} = M_T^* - M_{\text{Э}}^* - M_{\text{con}}^* \quad (1)$$

где J — суммарный момент инерции всех вращающихся частей;

M_T^* — вращающий момент турбины; $M_{\text{Э}}^*$ — электрический момент ГА; M_{con}^* — потери момента на разного рода сопротивления.

И модель упругого гидравлического удара:

$$\begin{cases} H_t^A - H_{t+\theta}^B = \frac{C}{gF} (Q_t^A - Q_{t+\theta}^B) & \text{прямая волна} \\ H_t^B - H_{t+\theta}^A = \frac{C}{gF} (Q_t^B - Q_{t+\theta}^A) & \text{обратная волна} \end{cases} \quad (2)$$

где $Q = L/C$ [с] — фаза гидроудара; А — конец турбинного водовода (турбинная камера); В — начало турбинного водовода (ВВ).

При моделировании режима работы ГА, можно исследовать временные зависимости изменения напора, момента и скорости вращения ГА.

*В. Д. Свистунов студент;
рук. А. Г. Васьков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВОГО ВЕТРОГЕНЕРАТОРА В КАЧЕСТВЕ МАЛОМОЩНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

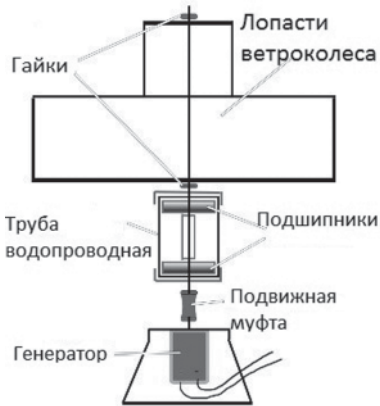


Рис. 1. Схема модели вертикально-осевого ветрогенератора

На нынешнем уровне развития технологий все большую популярность набирает использование экологически чистой или «зеленой» энергии, особенно в городской местности. Эта тенденция задает курс развития малой энергетики в сторону разработки компактных и легко эксплуатируемых генераторов на основе возобновляемых источников энергии, например, энергии ветра. Посчитать мощность ветрового потока можно по формуле:

$$N_{\text{ветра}} = \frac{1}{2} \rho F V^3 \quad (1)$$

где ρ — плотность воздуха; F — обтекаемая площадь; V — скорость ветрового потока.

При больших мощностях для преобразования энергии ветра в полезную энергию чаще всего используют горизонтально-осевые ветрогенераторы. Однако из-за высокой эффективности, независимо от направления ветра и работы при малых значениях скорости ветра, для использования в условиях городской застройки больше подойдут вертикально-осевые генераторы.

Для оценки возможности эффективного использования ветра с помощью вертикально-осевого ветрогенератора была сконструирована экспериментальная модель на основе ротора Савониуса. На ней была проведена серия опытов, в результате которых были получены основные характеристики, такие как скорость вращения ротора от значения скорости ветра из опыта холостого хода, электрическая мощность и КПД генератора от значений скоростей ветра из опытов с нагрузкой. Максимальная мощность и КПД составили 29 мВт и 10% соответственно. Эффективность ротора Савониуса обычно не превышает 29% [1], поэтому данную ветроустановку можно сделать эффективнее. Для этого следует рассмотреть замену генератора, либо добавление редуктора, для увеличения числа оборотов на генераторе.

Литература

1. N. H. Mahmouda, A. A. El-Harouna, E. Wahbaa, M. H. Nasef. An experimental study on improvement of Savonius rotor performance // Alexandria Engineering Journal Volume 51, Issue 1, March 2012, Pages 19–25.

*Н. В. Вилонов, Ф. В. Молотов, студенты;
рук. А. Г. Васьков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОДИКА КРАТКОСРОЧНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВЫРАБОТКИ ЭНЕРГИИ НА СЭС

В связи с растущим в мире интересом к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) и созданием законов, позволяющих стимулировать развитие ВИЭ, все больше организаций выражают желание принять участие в строительстве и эксплуатации солнечных электростанциях (СЭС). Задачей любой компании является получение прибыли, а торговля электроэнергией (ЭЭ) возможна на оптовом рынке электроэнергии и мощности. Управление режимами в реальном времени основано на минимизации стоимости поставки электроэнергии, а также мерах, делающих невыгодными самовольные отклонения от плановых значений. Таким образом, доход компании прямо зависит от точности прогнозирования выработки ЭЭ на СЭС.

Существующая математическая модель позволяет прогнозировать выработку электроэнергии на несколько суток вперед. Так как выработка ЭЭ на солнечных электростанциях напрямую зависит от прихода солнечного излучения на поверхность фотоэлектрических преобразователей, то она зависит и от погодных условий в месте расположения СЭС. Модель работает на основе прогноза по облачности на трех ярусах, высоте облаков и предсказывает выработку электроэнергии в зависимости от общей облачности. Расчет конечного значения выработки ЭЭ можно записать следующим образом:

$$W_t = \frac{W_t(N) * W_t(H), W_t(Nh)}{3} * k_m \quad (1)$$

где W_t — прогнозируемая выработка ЭЭ для t часа, $W_t(N)$, $W_t(H)$ и $W_t(Nh)$ — статистическая величина выработки в зависимости от общей облачности, высоты облаков и облачности на самом нижнем ярусе соответственно, k_m — среднемесячное значение поправки. Данная математическая модель прогнозирования дает значительную погрешность, что недопустимо при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности (ОРЭМ), а необходимые данные погоды приходится вводить вручную, что требует дополнительного времени и задерживает отправку заявки на ОРЭМ.

Результатом работы является улучшение существующей математической модели, позволяющей спрогнозировать выработку электроэнергии, а также создание программного обеспечения для автоматической выгрузки погодных данных с сайта.

*В. П. Заровняев, студ.; рук-ли А. Г. Васьков, к.т.н., доц.;
В. И. Гончаров, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ВЭС НА ОСНОВЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ (ВТСП)

В наше время актуальным является вопрос перехода от источников энергии, питаемых ископаемыми ресурсами, к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ). Целью этого перехода является снижение выбросов CO_2 в окружающую среду и уменьшение зависимости от ископаемых, добыча которых из года в год становится дороже. Одной из главных проблем этого перехода является относительно малая мощность агрегатов на ВИЭ. Решением этой проблемы может стать использование генераторов на основе ВТСП в конструкции ВЭУ. Преимуществами этих генераторов являются меньшие габариты, соответственно меньшая масса агрегата (порядка 20–30% массы классического генератора с редуктором), больший КПД (больше на порядка 5–8%), значительно меньшие потери (порядка 3% у генераторов на основе ВТСП и порядка 12% у классических), что приводит к уменьшению затрат на содержание (даже с учетом затрат на СН, охлаждение жидким азотом/гелием).

В работе проведено исследование, заключающееся в анализе и разборе спецификаций генераторов на основе ВТСП с конечным проектированием полностью сверхпроводящего синхронного генератора, установленной мощностью 10 МВт и КПД 97%, с использованием конечно-элементного моделирования на базе программы FEMM.

Литература

1. **Kostopoulos D. Liu D. Genani G. Polinder H.** Feasibility Study of a 10 MW MgB₂ Fully Superconducting Generator for Offshore Wind Turbines, Delft University of Technology, Netherlands. URL: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:42184015-8cac-4be2-8084-a221744d0452/datastream/OBJ> (дата доступа 30.11.2017)
2. **Caio W.** High-Temperature Superconducting Wind Turbine Generators, Newcastle University Upon Tyne, UK, 2011. URL: <http://cdn.intechweb.org/pdfs/14821.pdf> (дата доступа 30.11.2017)
3. **Maples B.** Comparative Assessment of Direct Drive High Temperature Superconducting Generators in Multi-Megawatt Class Wind Turbines, NREL, 2010. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy11osti/49086.pdf> (дата доступа 30.11.2017)

*И. В. Жандарский, студент;
рук. В. А. Шихин, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

САУ ГИБРИДНЫМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО НАДВОДНОГО СУДНА

Беспилотные надводные суда (БПНС) выполняют, как правило, важные задачи без прямого участия человека. Автономность есть одна из важнейших характеристик данного типа объектов, что необходимо учитывать при проектировании. Проблема автономности во многом связана с ограниченным запасом энергоресурсов на борту и, как следствие, ограниченное время функционирования и снижение работоспособности.

Использование альтернативных источников энергии является перспективным решением данной проблемы и одним из способов решения выступает преобразование солнечной энергии в электроэнергию. Наибольшая плотность потока солнечного излучения, приходящего на Землю, составляет примерно 1 кВт/м^2 [1]. Эффективность получения электроэнергии с солнечных панелей напрямую связана с географическим положением, погодными условиями, временем года и суток [2]. Дополнительным фактором повышения энергоэффективности солнечных панелей является применение механизма отслеживания положения солнца, что также особенно важно для мобильных БПНС часто и быстро изменяющих курс движения. Немаловажной частью автономной системы энергоснабжения с солнечными панелями являются энергонакопители. При проектировании системы солнечного электроснабжения важно учитывать противоречивые требования к аккумуляторным бортовым батареям, а именно: требуется повышенная емкость при ограничениях на вес, устойчивость к заряду/разряду, количество рабочих циклов и др. [3].

В докладе рассматривается разработанное техническое решение по созданию системы автоматического управления гибридным электроснабжением БПНС. Представлены расчеты выработки электроэнергии с солнечных панелей, исследованы алгоритмы переключения нагрузок между дизельным генератором и аккумуляторными батареями-накопителями, исследована возможность применения следящих солнечных панелей, предложены способы диагностирования жизненно важных узлов судна и устранения неисправностей.

Литература

1. **Харченко Н. В.** Индивидуальные солнечные установки // Изд. Энергоатомиздат — 1991. — стр. 8–15.
2. **Виссарионов В. И., Дерюгина Г. В., Кузнецова В. А.** Солнечная энергетика // Издательский Дом МЭИ — 2008. — стр. 13–15.
3. **Иванчура В. И., Чубарь А. В., Пост С. С.** Энергетические модели элементов автономных систем электропитания // М.: Журнал СФУ, 2012.

*А. Б. Тоимбаев¹ докт.; А. Е. Сатыбалдинова¹ студ.;
Жанарбекова М. Ж.¹ студ.;
рук. С. Л. Елистратов², д.т.н., профессор.; М. В. Ермоленко¹, к.т.н.
(¹ ГУ им. Шакарима г. Семей, г. Семей, ² НГТУ г. Новосибирск)*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ТЕПЛООВОГО НАСОСА НА ХЛАДАГЕНТЕ R407C

Все более значимую роль в технической теплофизике играют исследования в области машин, работающих по обратным термодинамическим циклам. Это связано с тем, что энергетическая отрасль, включающая производство тепловых насосов (ТН), в мире непрерывно растет [1].

Преимущества применения тепловых насосов: экономичная эффективность; универсальная повсеместность применения; экологическая чистота использования; двунаправленный режим работы; безопасность эксплуатации; полная автоматизация процесса отопления помещения [2].

Цель работы — исследование тепловой эффективности работы пароконденсационного теплового насоса в режиме отопления и горячего водоснабжения на неазеотропном хладагенте.

В результате проведенных экспериментально-аналитических исследований было установлено, что коэффициент трансформации возрастает с увеличением температуры низкопотенциального источника и уменьшением разности температур конденсации и кипения хладагента (таблица 1).

Таблица 1. Зависимость коэффициента трансформации от температуры низкопотенциального источника энергии

Температура низкопотенциального источника $t_n, ^\circ\text{C}$	Температура кипения $t_0, ^\circ\text{C}$	Температура конденсации $t_k, ^\circ\text{C}$	Коэффициент трансформации φ
6	3	67	4,57
11	8	67	4,68
16	13	67	5,42

Одним из преимуществ использования неазеотропных смесей в циклах тепловых насосов является переменность температур фазовых переходов (испарения и конденсации), что позволяет снизить эксергетические потери в процессе теплообмена.

Литература

- Елистратов С. Л.** Комплексное исследование эффективности тепловых насосов: дис. ... д-р технич наук: 01.04.14. Новосибирск, 2011. 330 с.
- Прыткова М. М. Смирнова Е. И., Жилина В. В., Суворов Д. В.** Энергоэффективность тепловых насосов // VIII Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум» 2016.

*И. В. Толмачев, студент;
рук. Б. И. Силаев, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЫБОРА ОСНОВНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГЭС С УЧЕТОМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПОПУСКА И ПОЛУЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Задача выбора основного энергетического оборудования состоит в определении его типов и параметров, которые обеспечивали бы, при выполнении всех требуемых ограничений, развитие энергосистемы за счет проектируемой ГЭС с минимальными затратами на строительство и максимальной прибылью при эксплуатации.

Технико-экономическое обоснование оптимального варианта основного оборудования выполняется путем анализа всех возможных его вариантов. Выбранные параметры оборудования должны обеспечивать эксплуатацию агрегатов и станции в целом с наибольшим КПД.

Необходимо стремиться к выбору минимального числа агрегатов при возможно большей мощности каждого из них, что приводит к увеличению коэффициента полезного действия, уменьшению стоимости и сроков изготовления.

Также необходимо удовлетворение требований водохозяйственного комплекса (ВХК) по обеспечению минимального расхода воды в нижнем бьефе, что может привести к снижению мощности агрегата, увеличению их числа или установке дополнительного агрегата для обеспечения водохозяйственного попуска. Это вызывает, как правило, значительное увеличение затрат в рассматриваемый проект ГЭС. В качестве альтернативного варианта для обеспечения водохозяйственного попуска целесообразно исследовать работу ГЭС в области главной универсальной характеристики с пониженным КПД. В этом случае возможно выполнить требования ВХК без установки дополнительных агрегатов.

Оптимальный вариант основного энергетического оборудования ГЭС должен быть выбран на основе технико-экономического обоснования.

Литература

1. **Александровский А. Ю., Силаев Б. И.** Обоснование параметров проектируемой ГЭС. / М.: Издательский дом МЭИ, 2006.
2. **Белаш И. Г.** Выбор гидротурбины на заданные параметры ГЭС. // М.: Издательский дом МЭИ, 2009.

Секция 55

ЭЛЕКТРОФИЗИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Председатель секции — к. т. н., доцент Я. Л. Арцишевский

Секретарь секции — к. т. н., доцент А. В. Орлов

И. Н. Алешин, М. А. Забелин, студенты (НИУ «МЭИ»);
рук. А. В. Лазукин, н. с. (НИУ «МЭИ», ИФР РАН, Москва)

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ ПРЕДОБРАБОТКА СЕМЯН ОЗИМОЙ РЖИ ПРОДУКТАМИ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

Эффективность предпосевной обработки семян зерновых культур электрофизическими методами связана с конкретными условиями обработки. При этом подобные методы также сорто-видоспецифичны. Это обстоятельство затрудняет их внедрение в практику сельского хозяйства. Таким образом, задача по выявлению оптимальных режимов обработки для различных культур, различающихся, например, по устойчивости, является актуальной. Ранее были проведены исследования по воздействию продуктов газового разряда на семена яровой и озимой пшеницы [1].

В работе приведены результаты экспериментального исследования воздействия продуктов плазмы поверхностного диэлектрического барьерного разряда (ПДБР) на качественные характеристики прорастания семян озимой ржи (*Secale cereale* L., сорт Чулпан, урожай 2013 г., семена из коллекций ЦКП «Биоресурсный центр» СИФИБР СО РАН, г. Иркутск). Обработка проводилась во влажном воздухе атмосферного давления. Электродная конфигурация ПДБР состояла из 10 параллельных полос (1 мм ширина, 4 мм между) питалась синусоидальным напряжением 2,5 кВ (действующего) частотой 15 кГц. Напряжение приложено к полосам, обратный электрод заземлен. Семена раскладывались на заземленной поверхности, удаленной от поверхности диэлектрического барьера (оксид алюминия, 1 мм толщины) на расстояние 10 мм. Оптимальный режим подбирается по экспозиции. Время экспонирования семян изменяется от 5 до 600 секунд.

Семена проращивали 3 суток в темноте на двух слоях фильтровальной бумаги в термостатируемых условиях при 24°C. На 3-и сутки измеряли длину ростка, суммарную длину корневой системы и количество нормально проросших семян (энергия прорастания). Проведено 4 независимых опыта (ноябрь-декабрь 2017 г.), по 50 семян на вариант, по 3 варианта на экспозицию. Показана эффективность обработки для двух времен экспозиции — оптимумы получены на 10-й и 300-й секундах выдержки. При этом ответ проростков различен. При коротких временах стимулируется росток, при длинных экспозициях корни и энергия прорастания.

Литература

1. Lazukin A. V., Lyubushkina I. V., Kirichenko K. A., Grabelnych O. I., Krivov S. A., Nikitin A. M. The study of the effects of surface dielectric barrier discharge low temperature plasma products on spring and winter wheat germination Журнал стресс-физиологии и биохимии. 2015. Т. 11. № 1.

*Т. В. Артамонова, студ.;
рук. А. А. Белогловский, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОБ УМЕНЬШЕНИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ЗАРЯДОВ

Воздушные линии электропередачи высокого напряжения (ВН), открытые распределительные устройства ВН и другие объекты энергетики — это источники электрических полей промышленной частоты (ЭППЧ). Они негативно влияют на аппаратуру, окружающую среду, здоровье человека [1], и необходим контроль их уровня, в частности, расчетным путем.

Одним из методов расчета ЭППЧ является метод эквивалентных зарядов (МЭЗ) [1]. Его идея состоит в замещении реального распределения заряда по поверхностям проводников эквивалентными зарядами (ЭЗ), помещенными внутри проводников. Расположение ЭЗ задается, а их значения определяются из граничных условий решением системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), чья размерность равна количеству ЭЗ.

Точность вычисления параметров поля при помощи МЭЗ зависит от вида, количества, а также взаимного расположения ЭЗ и поверхности электродов. Погрешности расчета ЭЗ ограничены вычислительными погрешностями решения СЛАУ, которые прямо пропорциональны числу обусловленности ее матрицы [2] и зависят от выбора метода решения СЛАУ.

В данной работе рассмотрены и сопоставлены результаты применения в МЭЗ метода Гаусса (МГ) и метода наименьших квадратов (МНК). МГ — это прямой метод решения невырожденной СЛАУ, в котором исходная матрица приводится к эквивалентной треугольной путем последовательного исключения переменных [2]. МНК ищет решение системы, которое минимизирует среднеквадратичное отклонение ее левых и правых частей. При этом уравнений в СЛАУ должно быть больше, чем переменных. Автор показала, что расчет ЭЗ при помощи МНК дает меньшую погрешность решения при большом количестве ЭЗ.

Таким образом, при расчете электрических полей методом эквивалентных зарядов системы линейных алгебраических уравнений большой размерности целесообразно решать методом наименьших квадратов.

Литература

1. **Колечицкий Е. С., Романов В. А., Каргашев В. Г.** Защита биосферы от влияния электромагнитных полей: учебное пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2009.
2. **Плис А. И., Сливина Н. А.** Лабораторный практикум по высшей математике: учебное пособие для вузов. М.: Высш. Шк. 1983.

*В. С. Азарков, студент;
рук. М. В. Соколова, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ВЛИЯНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДАМИ В МНОГОПОЛОСНОЙ СИСТЕМЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО РАЗРЯДА

В работе исследовался поверхностный электрический разряд, возникающий при воздействии импульсного напряжения в системе электродов в виде полос на поверхности диэлектрического барьера (пластина из оргстекла толщиной 2 мм), находящихся на различном расстоянии друг от друга, и заземленного сплошного электрода с противоположной стороны барьера.

Если расстояние между полосами достаточно велико, после первого разряда под воздействием ВН поле заряда, остающегося на поверхности барьера, будет незначительно влиять на разряд при последующем импульсе высокого напряжения. При уменьшении расстояния между электродами разряд с края каждой полосы становится самоограничиваемым, вследствие взаимодействия полей головок каналов микроударов развивающихся навстречу друг другу.

По результатам эксперимента можно сделать вывод о том, что влияние разрядов друг на друга зависит от амплитуды импульсного напряжения и расстояния между электродами. По рис. 1 можно увидеть, что при расстоянии $L = 30$ мм, амплитуде напряжения 7 кВ и длительности импульса напряжения 5 мкс разряды свободно развиваются. Длина каналов с обеих сторон составляет 14 мм. При таких же параметрах с расстоянием 20 мм между электродами длина каналов уменьшается до 9 мм, а при расстоянии 10 мм длина каналов составляет всего 4 мм.

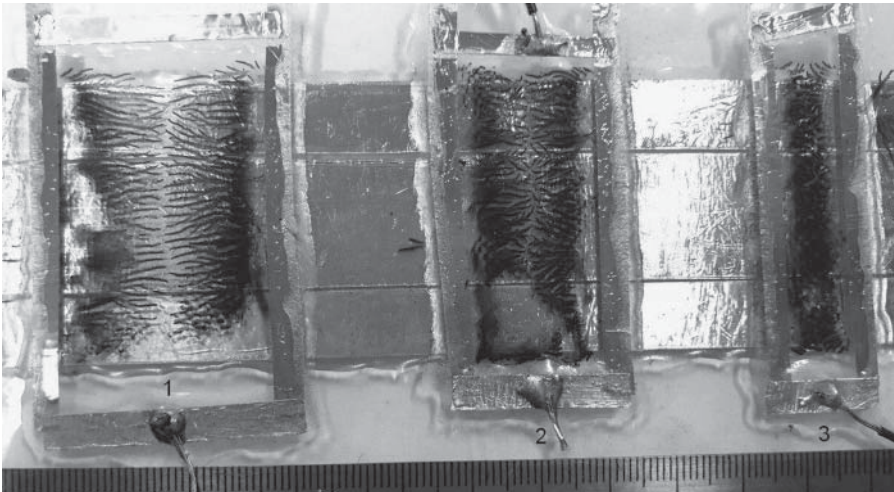


Рис. 1. Зависимость влияния расстояния на разряд (1 — $L=30$ мм; 2 — $L=20$ мм; 3 — $L=10$ мм)

А. С. Быстров, студ.;
рук. А. А. Белогловский, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЫНКА ПРОГРАММ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Одним из важных этапов проектирования воздушных линий электропередачи (ВЛ) высокого напряжения (ВН), является расчет электрических и магнитных полей, которые они создают в своих окрестностях. Действующие в России нормативные документы ограничивают их значения, как для персонала, обслуживающего источники поля, так и для населения [1]. Эти нормативные документы допускают возможность исследования электромагнитных полей, посредством их расчета при помощи программного обеспечения (ПО).

На рынке присутствует ряд программ, которые, в частности, могут быть использованы для расчета электрических и магнитных полей ВЛ ВН. Они реализуют различные методы расчета (методы эквивалентных зарядов, интегральных уравнений, конечных элементов [2]), существенно отличаются шириной своих возможностей и удобством использования.

Проведено маркетинговое исследование рынка программного обеспечения такого назначения. Оно позволило выявить 11 программ, 7 из них созданы в России. 6 из 11 — это программы общего назначения, т. е. они позволяют рассчитывать дву- и трехмерные электрические, магнитные, электромагнитные, тепловые и другие поля. 5 оставшихся программ специализированы для расчета полей ВЛ. 5 из 11 разработаны бывшими или действующими сотрудниками НИУ «МЭИ». Минимальная стоимость одной лицензии — 50 000 рублей.

Лишь 5 программ из 11 актуальны на сегодняшний день, поскольку они морально устарели и не поддерживаются авторами. Все программы, специализированные для расчета полей ВЛ, устарели.

Иначе говоря, сегмент рынка ПО для расчета электрических и магнитных полей ВЛ относительно свободен. Уровень подготовки специалистов и опыт разработки программ подобного назначения позволяет надеяться, что в НИУ МЭИ может быть создана качественная программа для расчета полей ВЛ. Ввиду нестабильной экономической и политической обстановки в современном мире, данная программа станет хорошим отечественным аналогом западному ПО.

Литература

1. **Колечицкий Е. С., Романов В. А., Каргашев В. Г.** Защита биосферы от влияния электромагнитных полей: Учебное пособие для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008
2. **Белогловский А. А., И. В. Пашинин** Методы расчет электрических полей в примерах и задачах: учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

*И. П. Чистяков, студ.; рук-ли С. И. Хренов, к. т. н, доцент;
Д. И. Ковалев, ст. преп.*

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА ПО ВЫПУСКУ ИННОВАЦИОННОГО ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Основной причиной сложившейся в настоящее время тяжелой ситуации с отечественным энергетическим оборудованием является деградация отечественного энергомашиностроения за более чем 10-летний период системного кризиса экономики Российской Федерации 1990–2000 гг., обусловленная резким ухудшением условий деятельности предприятий отрасли [1].

В 2014 г. западными странами в отношении России были введены торгово-экономические санкции, запрещающие ввоз импортной продукции на территорию Российской Федерации. После введения санкций Российское Правительство взяло курс на импортозамещение, которое, в первую очередь, включает в себя поддержку отечественного производителя и создание благоприятных условий для увеличения их доли присутствия на внутреннем рынке страны [2].

В работе рассматривается экономическая эффективность проекта по внедрению производства инновационного трансформаторного оборудования на территории Российской Федерации, который разрабатывается с целью замены иностранного оборудования на отечественное. В ходе работы выявлены наиболее острые проблемы в области производства трансформаторного оборудования, проведено исследование текущего состояния рынка.

Для оценки эффективности проекта сформирована экономическая модель, с использованием программного комплекса Microsoft Excel, которая подробно отображает денежные потоки, капитальные затраты, доходы и расходы проекта [3].

Результатом исследования является технико-экономическое обоснование, в котором отражена целесообразность создания рассматриваемого продукта на территории Российской Федерации.

Литература

1. **Празднов Г. С., Бушуев П. В.** Развитие потенциала производства и продаж продукции электротехнической промышленности (на материалах г. Москвы и Московской области) // Аудит и финансовый анализ. 2005. № 1.
2. Программа импортозамещения оборудования, технологий, материалов и систем в ОАО «ФСК ЕЭС» на период 2015–2019 г. М., 2014.
3. **Осика Л. К.** Инжиниринг объектов интеллектуальной энергетической системы. Проектирование. Строительство. Бизнес и управление. М.: Издательский дом МЭИ, 2014.

Б. М. Гиеев, асп.; рук. Я. Л. Арцишевский, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ ВЫБОРА УСТАВОК ПО ВРЕМЕНИ В КАНАЛЕ РЕАЛИЗАЦИИ КОМАНД АЧР

В [1, 2] рассмотрены вопросы реализации отключения нагрузки по командам АЧР на уровне 0,4 кВ. Предложен способ передачи команд устройств АЧР и их реализации путем кратковременного провала (прерывания) рабочего напряжения в цикле О-В силового выключателя фидера. Для того, чтобы сформированная команда точно попала в приемниках-модифицированные счетчики электроэнергии необходимо ее отстроить с учетом влияния двигательной нагрузки (ДН), которые способствуют запаздыванию указанной команды. С этой целью была разработана математическая модель в среде PSCAD по схеме, представленной на рис. 1.

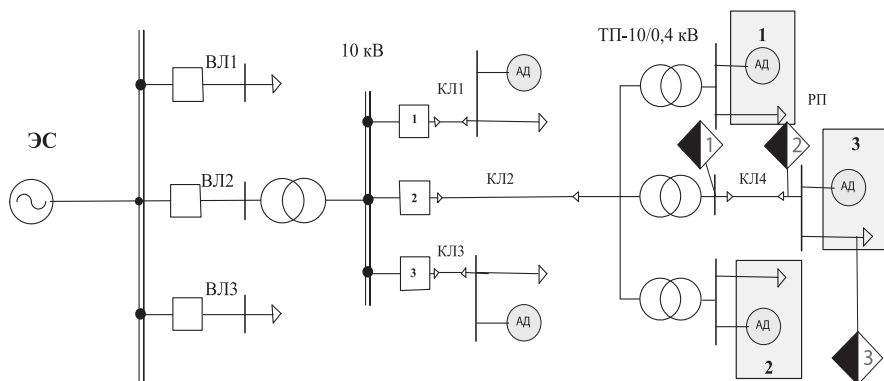


Рис. 1. Однолинейная типовая схема электроснабжения

Результаты моделирования при вариации мощности ДН в потребительских пунктах 1, 2, 3 в диапазоне от 10 до 50% показали, что явление одновременного выбега и самозапуска групп асинхронных двигателей смещает начала и окончания длительности командного провала (прерывания) относительно фиксируемого по уровню $0,5U_0$ в разных точках сети 0,4 кВ по-разному. Следует вывод, что при расчете уставок АЧР с реализацией отключения нагрузки на уровне 0,4 кВ и при мощности ДН до 50% в одном фидере необходимо выбрать время запаса равной $\Delta t_{\text{выб.АД}} = 0,1$ с.

Литература

1. Гиеев Б. М., Арцишевский Я. Л. Адаптация АЧР к переменному уровню ответственности электроприемников 0,4 кВ // Энергетик. 2017. № 8, С 18–21.
2. Арцишевский Я. Л., Гиеев Б. М. Надежность электроснабжения ответственных потребителей 0,4 кВ при действии АЧР. Материалы XXII Международной научно-технической конференции ТРАВЭК-2015, Москва, 2015 г.

*Н. П. Грачева, студент; рук. А. А. Волошин, к.т.н., ст. преп.
(ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», Москва)*

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ РЗА ЦПС

В настоящее время не существует методических указаний по проектированию ЦПС, вследствие отсутствия единого мнения об архитектуре ЦПС. В рамках работ [1] и [2] были разработаны комплекты рабочей документации построения РЗА для ЦПС с шиной процесса, проведен технико-экономический анализ, а также оценка затрат на эксплуатацию систем РЗА и АСУ ТП ЦПС для традиционной ПС и 7 вариантов построения РЗА ЦПС.

Однако для принятия решения по выбору архитектуры РЗА ЦПС недостаточно только технико-экономических показателей, необходима оценка показателей надежности.

В рамках настоящей работы была разработана методика оценки показателей надежности для сопоставительного анализа различных вариантов архитектур РЗА ЦПС. С использованием разработанной методики проведен расчет показателей надежности РЗА ЦПС семи вариантов, рассмотренных в [1], [2].

На основе проведенного анализа технико-экономических показателей и показателей надежности были определены предпочтительные варианты архитектуры РЗА ЦПС. Для подстанции магистральных электрических сетей рекомендуется установка одного специализированного промышленного компьютера на каждый защищаемый элемент с полным набором основных и резервных функций и автоматическим перераспределением функций при отказе, а для подстанций распределительных сетей применение интеллектуальных устройств сопряжения с объектом с полным набором функций основных и резервных защит и их перераспределением при отказе.

Было выявлено, что РЗА с гибкой функциональной архитектурой обладает более высокими показателями надежности при меньших капитальных и операционных затратах, чем комплексы РЗА ЦПС с традиционной и централизованной архитектурами.

Литература

1. **Волошин А. А., Благоразумов Д. О., Грачева Н. П., Тяпкин Н. В., Чаругина А. В.** Сравнение различных вариантов построения РЗА ЦПС. Электроэнергия. Передача и распределение. № 2 (41), 2017 г.
2. **Волошин А. А., Волошин Е. А., Жуков А. В., Васильев Р. В., Грачева Н. П.** Комплекс РЗА с гибкой функциональной структурой. Вести в электроэнергетике. № 4 (90), 2017 г.

И. А. Графуткин, студ; рук. А. В. Орлов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОРГАНИЗАЦИЯ РАСЧЕТНОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЗА РУБЕЖОМ

Учет электрической энергии является основой энергосбережения и повышения энергетической эффективности страны. Без организации должной системы точного учета поступившей в электрические сети, отпущенной из сетей и полезно потребленной электроэнергии невозможно рассчитать балансы электроэнергии по сети в целом и ступеням напряжения, технические и фактические потери электроэнергии, а также выявить места очагов потерь для выработки мероприятий по снижению потерь. Чтобы эффективно экономить электроэнергию, ее нужно точно измерять. [1]

Передовой зарубежный опыт показывает, что наиболее перспективным путем совершенствования системы коммерческого учета электроэнергии на оптовом и розничном рынках является создание и внедрение автоматизированных информационно-измерительных систем коммерческого учета электроэнергии (АИСКУЭ) с целью выставления счетов на оплату напрямую потребителю в автоматическом режиме и дальнейшим постепенным переходом к полнофункциональной технологии Smart Metering как части интеллектуальной электрической сети Smart Grid, внедрение которой началось в Европе в конце 90х гг. XX века. Первыми странами были Италия, Швеция, Нидерланды, Ирландия, Норвегия, Франция, Испания и Швейцария. [2]

Исследование заключается в обобщении зарубежного опыта внедрения систем Smart Metering для поиска оптимального пути развития данной технологии в России, которая в свою очередь позволит снизить электропотребление и, соответственно уменьшить не только коммерческие потери, но и технологические; повысить надежность энергосистемы за счет активного управления потребителями, а также повысить эффективность мероприятий по снижению потерь.

Литература

1. Utility-Scale Smart Meter Deployments: Building Block of the Evolving Power Grid, Institute for Electric Innovation Report. September 2014.
2. «SmartRegions — Promoting Best Practices of Innovative Smart Metering Services to European Regions». SmartRegions. April 2015.

*В. А. Касимов, магистр; рук. Минуллин Р. Г., д. ф.-м. н., проф;
Т. К. Филимонова, к. ф.-м. н., доц. (КГЭУ, Казань)*

ЛОКАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПРОВЕСА ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Обеспечение качественного и бесперебойного питания потребителей является необходимым условием энергосбережения. Одной из причин аварий на воздушных линиях электропередачи является то, что под действием нагрузочных токов и высокой температуры окружающей среды в летний период провода могут провисать ниже безопасного расстояния до земли. При этом передвигающаяся под линией электропередачи техника может задеть провисшие провода, вызвав аварию в виде обрыва или замыкания проводов, которая может сопровождаться поражением людей электрическим током.

В Казанском государственном энергетическом университете более 20 лет ведутся исследования по локационной диагностике состояния воздушных линий электропередачи (ЛЭП).

Локационный метод заключается в подаче импульсного сигнала в ЛЭП и его приеме после отражения от конца линии. В ходе эксплуатации локационной аппаратуры было обнаружено наличие влияния изменений температуры окружающей среды на затухание и запаздывание отраженных локационных сигналов. Выявленная зависимость является основой для разработки методики решения обратной задачи определения температуры проводов по изменениям локационных сигналов. При этом, после определения температуры провода, может быть вычислена стрела провеса провода ЛЭП и своевременно выработана предупредительная сигнализация о ее сверхнормативных значениях, при которых возможно возникновение аварии. В настоящее время эта аппаратура обеспечивает предупреждение гололедных аварий путем мониторинга гололедообразования на проводах воздушных линий электропередачи в зимний период.

Разработка технологии локационного мониторинга температуры и стрелы провеса проводов воздушных линий электропередачи, которая при совместном использовании с технологией локационного мониторинга гололеда на проводах обеспечит круглогодичный контроль состояния воздушных линий электропередачи, за счет чего будут предупреждены гололедные аварии в зимний период и аварии вследствие сверхнормативного провеса проводов в летний период.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по Соглашению № 14.574.21.0141 от 26 сентября 2017 г., уникальный идентификатор проекта RFMEFI57417X0141.

*С. А. Луговской, студент; рук. М. В. Соколова, к.т.н., с.н.с.
(НИУ «МЭИ», Москва)*

ВЛИЯНИЕ ЗАРЯДОВ НА ПОВЕРХНОСТИ БАРЬЕРА НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО РАЗРЯДА

В работе рассматривается поверхностный электрический разряд, возникающий при воздействии однократного импульса высокого напряжения с края электрода, расположенного на диэлектрическом барьере. Система состоит из двух электродов, расположенных с двух сторон барьера. Один электрод заземляется, а на другой подается высокое напряжение.

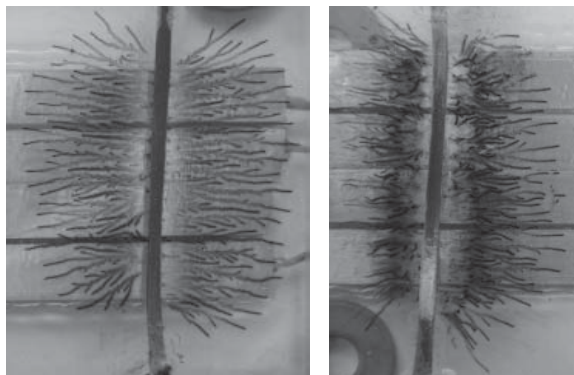


Рис. 1. Сравнения картин осевших зарядов при однократном импульсе (слева) и многократных (справа)

После подачи однократного импульса напряжения на электрод на поверхности барьера оседает положительный заряд (рис. 1), который создает поле, мешающее развитию последующих разрядов, вследствие чего, начальное напряжение разряда увеличивается с каждым новым импульсом напряжения, а каналы стримеров уменьшаются в длине.

Последовательная подача однократных импульсов напряжения на один и тот же электрод постепенно создает подобие установившегося режима, т.е. характеристики поверхностного разряда становятся приблизительно одинаковыми. При этом на поверхности барьера проявляется заряд большой плотности, что видно при электрографическом проявлении заряда.

В работе проводится сравнение электрических характеристик разряда по поверхности чистого барьера и разряда по поверхности образца, уже имеющего осевший заряд, при различной толщине барьера.

С. П. Максимов, студ. ;
рук. П. А. Кузнецов, к. т. н., доц. (СГТУ, Саратов)

ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ ПОСТОВ МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАВЕДЕННОЙ ЭДС В ГРОЗОТРОСЕ

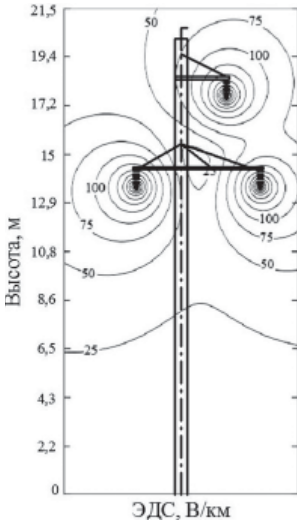


Рис. 1. Значение наведенной ЭДС в поперечном сечении опоры ВЛ-110 кВ марки ПБ-110-5

Работа линейных постов систем мониторинга воздушных линий (ВЛ) обеспечивается источниками автономного электропитания. Чаще всего это солнечная батарея с аккумулятором, реже — трансформатор напряжения или конденсатор связи, подключаемые к ВЛ.

Перспективным вариантом электропитания постов является использование грозотроса ВЛ как источника ЭДС, наведенной проводами ВЛ.

Разработана физико-математическая модель определения ЭДС, наведенной проводами ВЛ. По методике [1] для выбранной схемы линии определены сопротивление контура «грозотрос–заземлители–земля» и значения наведенной в нем ЭДС по формуле (1).

Пример распределения ЭДС в сечении опоры ВЛ-110 кВ марки ПБ-110-5 представлен на рис. 1. Здесь модуль значения наведенной ЭДС в грозотросе длиной 1 км с учетом погрешности [2] равен 50,8 В.

$$\dot{E}_x = \sum_{i=1}^N (-j) \frac{\omega \mu}{4\pi} \dot{I}_i \ln \frac{(h_i + z)^2 + y^2}{(h_i - z)^2 + y^2} + 4 \int_0^{\infty} \frac{e^{-v(h_i + z)}}{v + \sqrt{v^2 + k_s^2}} \cos y v dv \quad \text{В/км (1)}$$

где \dot{I}_i — фазный ток i -го провода; h_i — высота подвеса i -го провода; z, y — координаты точки наблюдения вторичной цепи.

При длине грозотроса 2,3 км и токе линии 50 А мощность источника достигает значения 100 Вт, достаточного для электропитания постов мониторинга.

Разрабатывается методика определения оптимальных схем и параметров источников питания в зависимости от параметров ВЛ и режимов их работы.

Литература

1. Глушко В. И. К решению классической задачи магнитного влияния воздушных линий электропередачи на протяженные проводящие коммуникации // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. — 2013. — № 2. — С. 5–10.
2. Глушко В. И., Ямный О. Е., Ковалев Э. П., Науменок Н. А. Расчет наведенного напряжения на линиях электропередачи и обеспечение безопасности работ на этих линиях // Электричество. — 1997. — № 8. — С. 13–18.

*Д. Ю. Низамов, Е. А. Кауэр, студенты;
рук. С. А. Кривов, д.т.н, проф. (НИУ «МЭИ»)*

ТРЕХЭЛЕКТРОДНАЯ КОНФИГУРАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО РАЗРЯДА ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН

Поверхностный диэлектрический барьерный разряд в последнее время часто используется в агротехнологиях для предпосевного стимулирования семян. При этом распространена схема обработки, когда семена находятся непосредственно на поверхности барьера в зоне плазмы [1]. В таком случае разряд опирается непосредственно на поверхность семени. Как следствие, на поверхности семенной кожуры образуются микрповреждения, что приводит к изменению водного статуса (изменение смачиваемости и интенсивности набора воды на начальных этапах прорастания). Считается, что это основная причина стимулирования прорастания семян. Однако для стимуляции применяется и другой вариант системы [2], когда в конфигурации присутствует третий электрод, обычно заземленный (либо соответствует по потенциалу обратному электроду), на поверхности которого и располагаются семена.

В работе приведены результаты экспериментального исследования энергетических характеристик (энергия, мощность, интегральная температура) трехэлектродной конфигурации поверхностного диэлектрического барьерного разряда (ПДБР). Расстояние между поверхностью диэлектрического барьера и третьим электродом, предназначенным для расположения семян, составляет 10 мм. Исследование характеристик проводилось во влажном воздухе атмосферного давления. Электродная конфигурация ПДБР состояла из 10 параллельных полос (1 мм ширина полосы, 4 мм между полосами, барьер оксид алюминия, толщина барьера 1 мм), питалась синусоидальным напряжением 2,5 кВ (действующее значение), частотой 15 и 60 кГц. Вложенная энергия определялась по методу вольт-кулонных характеристик.

Литература

1. **Yeunsoo Park, Kyoung Suk Oh, Jaesung Oh, Dong Chan Seok, Seong Bong Kim, Suk Jae Yoo, Mi-Ja Lee** The biological effects of surface dielectric barrier discharge on seed germination and plant growth with barley Plasma Process Polym 2016; 9999: 1–8
2. **Lazukin A. V., Lyubushkina I. V., Kirichenko K. A., Grabelnych O. I., Krivov S. A., Nikitin A. M.** The study of the effects of surface dielectric barrier discharge low temperature plasma products on spring and winter wheat germination Журнал стресс-физиологии и биохимии. 2015. Т. 11. № 1.

*Н. Н. Петров, студент;
рук. Г. А. Евдокунин, д.т.н., проф. (СПбПУ, Санкт-Петербург)*

ОЦЕНКА УРОВНЯ НАВЕДЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ОТ БЛИЗКИХ УДАРОВ МОЛНИИ

Целью исследования является моделирование процессов происходящих при наведении напряжения на воздушных линиях электропередач при близких (непрямых) ударах молнии. В работе представлены результаты компьютерного моделирования наведенного напряжения на одиночной линии без потерь, расположенной на высоте от земли с идеальной проводимостью.

В работе были решены следующие задачи: 1) Найдено распределение тока обратного разряда молнии при движении вверх по каналу. 2) Определены составляющие электромагнитного поля с помощью решения уравнений Максвелла в терминах скалярного и векторного потенциалов. 3) Получены решения телеграфных уравнений для линии электропередач с учетом внешнего источника (электромагнитного поля молнии) в виде выражения для наведенного напряжения в зависимости от координаты и времени. 4) Реализован численно-аналитический алгоритм нахождения распределения наведенного напряжения на воздушной линии электропередач в программе Matlab. Получено распределение и дана сравнительная оценка наведенного напряжения на линии при разных параметрах линии и молнии [1, 2].

Полученные амплитуды наведенного напряжения на линии электропередачи (около 40 кВ) приводят к перенапряжениям и повреждению силового оборудования, цепей управления и защиты линий низкого напряжения. Данные результаты необходимы для оценки уровней наведенного напряжения на линии при выборе изоляции линий и защитных аппаратов. Дальнейшее исследование в данной области помогут разработать защитное оборудование против перенапряжений на линиях электропередач, предотвратить перерывы в электроснабжении потребителей электрической энергии и избежать технико-экономического ущерба.

Литература

1. **Evdokunin G. A., Petrov N. N.** Lightning-induced voltage on overhead lines, 2016 IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EConRusNW), Saint-Petersburg, 2016, pp. 553–556, DOI: 10.1109/EConRusNW.2016.7448243
2. **Evdokunin G. A., Petrov N. N.** Analytical-numerical, solution of electromagnetic equations for calculation lightning-induced voltage on overhead transmission line, 2016 IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EConRusNW), Saint-Petersburg, 2017, pp. 1236–1239, DOI:10.1109/EConRus.2017.7910786

Д. С. Шарыгин, В. А. Строгов, студ.;
рук. А. А. Яблоков, к.т.н., Г. А. Филатова, ст. преп. (ИГЭУ, Иваново)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НЕТРАДИЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ ТОКА

Использование нетрадиционных датчиков тока и напряжения в алгоритмах дистанционного определения места повреждения предполагает существенное повышение их точности. Экспериментальное исследование характеристик указанных датчиков, а также разработка их математических моделей представляет практический интерес [1].

В ИГЭУ на кафедре АУЭС были проведены эксперименты с использованием образцов поясов Роговского различных фирм-изготовителей (рис. 1). В качестве источника первичного сигнала был использован 6-канальный испытательный комплекс OMICRON CMC-356. Исследования проводились при величинах первичного тока от 50 до 1000 А и в диапазоне частот до 1000 Гц. Моделировались режимы броска первичного тока. Полученные данные были проанализированы и построены зависимости первичного тока и напряжений с поясов Роговского от времени.

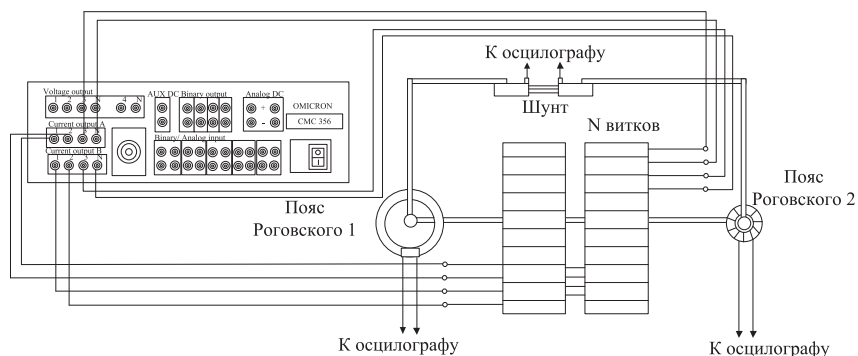


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

В программном комплексе Matlab разработаны математические модели поясов Роговского. Модели имеют приемлемую точность в установившихся и переходных режимах и использовались в общих моделях сети для исследования алгоритмов определения места повреждения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-79-10455) в ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина».

Литература

1. Лебедев В. Д., Яблоков А. А., Нестерихин А. Е. Исследование погрешностей измерения тока поясом Роговского на основе математического и физического моделирования // Вестник ИГЭУ. Вып. 6. 2013. С. 30–34.

М. А. Синицын, студ.; рук. М. Г. Тягунов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Важнейшим принципом эксплуатации высоковольтного оборудования является обеспечение заданного уровня надежности его функционирования. С этой целью применяются системы диагностического мониторинга (СДМ).

СДМ представляет собой программно-технический комплекс, устанавливаемый на диагностируемый объект, и выполняет следующие функции:

- сбор диагностических данных;
- обработка и управление данными;
- оценка и прогнозирование технического состояния электроэнергетического оборудования;
- предоставление доступа и сервисов пользователям;
- представление результатов обработки данных пользователям для оперативного принятия решений [1].

Экономический эффект от внедрения СДМ складывается из снижения риска и предотвращения крупных аварий, влекущие за собой замену дорогостоящего оборудования; организации рациональной системы текущего обслуживания и ремонта (ТО и Р) по фактическому состоянию оборудования; снижение частоты отказов и длительности отключения потребителей; снижение штрафов и санкций за недоотпуск электроэнергии.

Среди существующих проблем применения СДМ выделяют высокую стоимость внедрения и эксплуатации; необходимость развития математического аппарата и аналитических моделей для оценки и прогнозирования технического состояния оборудования подстанции; отсутствие интеграции СДМ со смежными информационно-аналитическими системами [1].

Цель работы — это рассмотрение результатов разработки системы диагностического мониторинга силового трансформатора и оценки экономической эффективности от ее внедрения. В рамках данного исследования создана SCADA-система верхнего уровня на основе ПО фирмы Insat — MasterSCADA, произведена оценка работоспособности созданной СДМ на основании имитационной модели диагностируемого объекта, разработан алгоритм обработки диагностических данных, шкаф автоматики, подобрано оборудование.

Литература

1. **Дарьян Л. А.** Технически и экономически обоснованные системы диагностического мониторинга, оценки и прогнозирования технического состояния оборудования // выступление на 7-м Всероссийском совещании главных инженеров-энергетиков SAPE 2017, Сочи: Минэнерго, 13–14 апреля 2017 год.

Д. Ю. Свитачев, студент;
рук. В. Н. Курьянов, к.т.н. (Филиал МЭИ в г. Волжском)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОРОНЫ НА ПРОВОДАХ РАЗНЫХ МАРОК

На проводах ВЛ помимо неровностей всегда встречаются повреждения поверхности, загрязнения и могут эпизодически появляться атмосферные отложения. Это приводит к возникновению местной короны в отдельных участках провода. Целью нашего исследования стало определение напряжения возникновения короны на проводах различных марок и выбор оптимального провода с наименьшими потерями на корону и, значит, лучшим качеством.

Мы провели эксперимент на марках проводов АС, АСВП и АСВТ.

Таблица 1. Напряжения возникновения коронного разряда

АС 150/19	АС 185/29	АС 240/32	АСВП 197/55	АСВП 214/60	АСВТ 197/56	АСВТ 218/62
130,8 кВ	134,5 кВ	154,5 кВ	142,2 кВ	149,2 кВ	142,5 кВ	149,3 кВ

$$\frac{P}{r_0^2 E} = F \cdot \left(\frac{E}{E_H} \right), \quad (1)$$

где r_0 — радиус провода; E — напряженность на поверхности провода; E_H — начальная напряженность короны.

Представим наглядно результаты исследования в виде графика (рис. 1):

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что наиболее оптимальными проводниками являются АС 240/32 и АСВП 214/60.

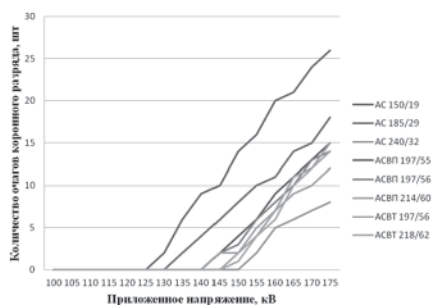


Рис. 1. Зависимость количества очагов коронного разряда в зависимости от приложенного напряжения

Литература

1. И. П. Белоедова, Ю. В. Елисеев, Е. С. Колечицкий и др. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения: учебное пособие М.: ИД МЭИ, 2008. — 248 с.

*Б. Буянбаатар, магистр;
рук. Я. Л. Арцишевский, доц. к. т. н., (НИУ «МЭИ»)*

СПЕЦИАЛЬНАЯ АВТОМАТИКА ОТКЛЮЧЕНИЯ НАГРУЗКИ

Для предотвращения недопустимого снижения частоты при внезапном нарушении баланса активной мощности в отдельной части энергосистемы предусмотрена специальная автоматика отключения нагрузки (САОН).

Объем этой разгрузки динамически переназначается в автоматическом режиме по данным телеизмерений мощности в нескольких точках энергосистемы по алгоритму автоматической дозировки воздействия (АДВ). Пуск на действие САОН осуществляется по логическому сигналу об устойчивом отключении элементов энергосистемы. Значительный дефицит и последующие переключения нагрузки вызывают интенсивный электромеханический переходный процесс, значения параметров которого могут принимать недопустимые значения. В докладе приводятся данные машинных экспериментов, полученные на PSCAD-моделе энергосистемы Монголии. Экспериментально определена допустимая задержка в реализации команды САОН, а также допустимое отклонение в реализации объема разгрузки относительно задания АДВ.

Литература

1. **Глускин И. З., Иофьев Б. И.** Противоаварийная автоматика в энергосистемах Том 1 М. Знак. 2009 г., 286 с.

*А. М. Туитяров, студент;
рук. Д. Ф. Губаев, к.т.н., проф. (КГЭУ, Казань)*

ФЕРРОРЕЗОНАНС В СЕТЯХ 6–35 КВ

Целью работы является исследование резонансных повышений напряжения в сетях 6–10 кВ с электромагнитными трансформаторами напряжения (ТН) в графической среде имитационного моделирования Matlab Simulink.

В электрических сетях 3–35 кВ следует принимать меры для предотвращения феррорезонансных процессов и самопроизвольных смещений нейтрали [1].

Феррорезонансные явления приводят к увеличению тока через обмотку высшего напряжения (ВН), разогреву обмотки ВН и повреждению ТН.

В сетях 6–10 кВ с изолированной нейтралью при наличии однофазного замыкания на землю возможно феррорезонансное повышение напряжения в контуре с индуктивностью ТН и емкостью сети. Феррорезонансные процессы могут развиваться только при протекании токов нулевой последовательности. Междофазные напряжения остаются без изменения [2].

Феррорезонанс в контуре с ТН и емкостью сети возможен в схемах, работающих с изолированной нейтралью в следующих случаях:

- 1) при самопроизвольном смещении нейтрали 0 в схемах с малыми емкостными токами;
- 2) при субгармоническом феррорезонансе в схемах с относительно небольшими емкостями коротких линий 6–10 кВ;
- 3) при однофазных замыканиях на землю через перемежающуюся дугу.

При наличии дугогасящих реакторов (ДГР) в таких схемах феррорезонанс невозможен, но в условиях реальной эксплуатации ДГР могут быть выведены для ремонта. Замена ТН на антирезонансные так же исключит возможность феррорезонанса, но это мероприятие экономически неэффективно. Таким образом, исследование феррорезонанса для разработки альтернативных методов защиты ТН является актуальной задачей.

После проверки достоверности проведенных исследований необходимо выявить степень вероятности возникновения феррорезонансных явлений на объектах Казанских электрических сетей.

Литература

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. — 15-е изд., М.: Изд-во НЦ ЭНАС 2003.
2. Методические указания по защите от резонансных повышений напряжения в электроустановках 6–750 кв. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» — СТО 56947007-29.240.10.191-201. Дата введения: 19.11.2014 — 33 с.

*Е. Н. Уракова, студ.; рук. С. И. Хренов, к.т.н., доц.;
Д. А. Матвеев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПАРАМЕТРЫ ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫХ ПРОЦЕССОВ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 35 КВ

Отечественные распределительные сети 35 кВ часто эксплуатируются в режиме изолированной нейтрали, так как емкостные токи воздушных линий электропередачи достаточно малы, и подключение к нейтральной точке сети дугогасящих реакторов не требуется. Режим изолированной нейтрали создает предпосылки для возникновения и устойчивого существования в сети феррорезонансных процессов, если электромагнитные трансформаторы напряжения контроля изоляции (ТНКИ) не имеют антирезонансной конструкции. Для таких ТНКИ проектные организации часто предлагают в качестве мероприятия по подавлению феррорезонанса подключение резисторов к первичным или вторичным обмоткам. Однако резисторы часто неэффективны из-за необходимости выбирать их на малую мощность. Нужна инженерная методика, позволяющая рассчитывать параметры резисторов и определять целесообразность их установки. В [1] предложены формулы для определения области применения резисторов, но они не учитывают специфики возникновения феррорезонансных явлений на сверх- и субгармониках. Необходимо численное моделирование с корректным учетом всех факторов, влияющих на параметры феррорезонансных процессов. Их анализу посвящена настоящая работа, в рамках которой была разработана расчетная модель трехфазной группы однофазных ТН с литой изоляцией и модель распределительной сети 35 кВ. В ходе расчетов варьировались в широком диапазоне фазные емкости сети, параметры и точки подключения резисторов, рассматривалось влияние аппроксимации кривой намагничивания ТН.

По результатам работы были сделаны следующие выводы.

1. В сетях с малыми емкостными токами ($C_{\phi} = 100\text{--}1000$ пФ) феррорезонанс возникает на сверхгармониках (100–200 Гц) и характеризуется значительными перенапряжениями (трех- и четырехкратными). При больших значениях C_{ϕ} (100–500 нФ) феррорезонансные колебания существуют на частотах 50/5 и 50/3 Гц, перенапряжения при этом не превышают двукратных значений.
2. Кривая намагничивания ТН должна задаваться на основании экспериментально полученных значений в диапазоне индукций до 2,3–2,4 Тл.
3. Практикуемая в сетях установка резисторов в нейтраль обмоток ВН трансформаторов не рекомендуется.

Литература

1. Защита измерительных трансформаторов напряжения и нелинейных ограничителей перенапряжения от феррорезонансных явлений в электрических сетях 35–110 кВ / М. С. Артемьев, Н. Н. Магдеев, В. В. Чернецов и др. // Вестник МЭИ, № 6, 2015, с. 87–95.

*С. А. Зенькевич, Е. С. Богданов, студенты;
рук. А. В. Вихарев, к.т.н., доц., О. А. Баженов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

УЧЕТ НЕЛИНЕЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ANSYS MAXWELL

Одним из программных комплексов, применяемых при проектировании электроэнергетического оборудования и анализе режимов его работы, является ANSYS, включающий в себя программу для анализа электрических и магнитных полей ANSYS Maxwell. Встречаются задачи, при решении которых встают вопросы моделирования систем с не линейными свойствами материалов, например, нелинейные ограничители перенапряжений. На данный момент в ANSYS Maxwell возможность учета нелинейности реализована при решении электромагнитных задач применительно к свойствам магнитных материалов. В тоже время существует возможность задать изменение свойств материала в зависимости от температуры.

В данной работе была предпринята попытка учесть нелинейную проводимость варистора для ОПН фирмы EPCOS, задавая эту характеристику в качестве параметрической функции при описании температурной зависимости материала. С использованием разработанной модели рассчитано изменение напряжения и тока в варисторе при номинальном напряжении (рис. 1 а) и при повышенном напряжении (рис. 1 б). Как показали результаты вычислительного эксперимента, при номинальном напряжении в варисторе преобладает емкостной ток, а при перенапряжении резко увеличивается доля активной составляющей тока, что соответствует данным при эксплуатации ОПН.

Таким образом, используя параметрические функции в температурной зависимости материалов, можно моделировать системы с нелинейными электрическими характеристиками материалов в комплексе ANSYS.

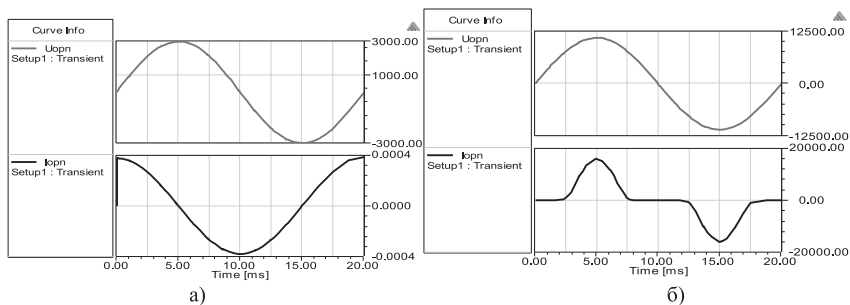
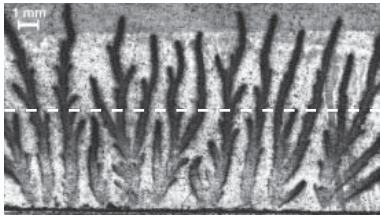


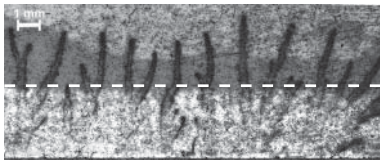
Рис. 1. Зависимости напряжения (U_{opn}) и тока (I_{opn}) в варисторе:
а — при номинальном напряжении; б — при перенапряжении

*В. В. Воеводин, аспирант;
рук. М. В. Соколова, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО РАЗРЯДА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОГРАФИИ



А



Б

Рис. 1. Картины проявленного электрографическим методом осевшего на поверхность барьера заряда при различной ширине нижнего электрода — 20 (А) и 5 (Б) мм. Штрихом показана граница нижнего электрода

Электрографический метод заключается в проявлении заряда, возникшего в процессе развития канала микроразряда и осевшего на поверхность диэлектрического барьера, с помощью порошка, частицы которого имеют заряд противоположного знака. Применение данного метода позволяет оценить ширину разрядной зоны, структуру каналов микроразряда и скорость их распространения [1].

В работе рассматриваются основные этапы электрографии — подготовка поверхности барьера и снятие с нее остаточного заряда, подача однократного импульса напряжения на электродную систему, проявление осевшего заряда. Показано, что в случае подачи нескольких последовательных импульсов напряжения одной полярности, без снятия заряда на поверхности от предшествующих разрядов, происходит изменение структуры и длины каналов разряда за счет искажения электрического

поля вблизи края электрода, с которого развивается разряд, что позволяет оценить степень влияния осевшего заряда на последующий разряд. Приводится сравнение фотографических методов регистрации структуры поверхностного разряда с электрографическим методом. Исследуется влияние толщины диэлектрического барьера, ширины нижнего электрода (рис. 1) на электрические характеристики поверхностного разряда и его структуру, определяемую с помощью электрографического метода.

Литература

1. Y. Murooka, T. Takada and K. Hiddaka. Nanosecond surface discharge and charge density evaluation Part I: review and experiments // IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 17, 2, pp. 6–16

К. Е. Яковлев, студ.; рук. Л. Л. Черненко, к. т. н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Как показывает российский и мировой опыт эксплуатации линий сверхвысоких напряжений, главной причиной их отключений являются прорывы молний сквозь тросовую защиту. А поскольку в текущих реалиях российской энергетики большая часть электрооборудования высокого напряжения исчерпала свой ресурс, то встает проблема молниезащиты энергетических объектов. Для создания эффективных и экономически целесообразных методов молниезащиты необходимо детальное понимание процессов возникновения, развития и ориентации молний.

Проведение натуральных экспериментов в этой области является трудновыполнимой задачей.

Расположенный на кафедре ТЭВН НИУ «МЭИ» стенд «Гроза» позволяет создавать искусственные грозовые ячейки для использования их в современных научных исследованиях в области изучения вопросов инициирования разрядов молнии. Такие эксперименты требуют наличия одновременно двух искусственных заряженных облаков.

Программа для расчета электрических полей от нескольких заряженных аэрозольных образований, являющаяся развитием идей и алгоритмов, описанных в [1] и реализованных в [2], дает возможность определить напряженность и потенциал электрического поля в любой точке аэрозольной камеры или открытого пространства.

Достоверная информация об электрических полях, создаваемых искусственными заряженными облаками облегчит планирование экспериментов и поможет существенно ускорить получение полезных практических и научных результатов исследований, необходимых для разработки новых и уточнения существующих методик молниезащиты объектов электроэнергетики, летательных аппаратов и объектов промышленности высокой степени пожаро- и взрывоопасности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-19-00160).

Литература

1. **Темников А. Г., Орлов А. В.** Определение электрического поля затопленной турбулентной струи заряженного аэрозоля. *Электричество*, № 8, 1996, с. 18–25.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам № 2011612586 от 30.03.2011 «Программа расчета электрических полей, создаваемых искусственными заряженными аэрозольными образованиями, при наличии модели диэлектрического обтекателя RadomeJetField»

*Д. Б. Зарва, А. А. Дериглазов, аспиранты;
рук-ли В. М. Павлов, к.т.н., доц. (ТПУ, Томск);
Э. Г. Батырбеков, д. ф.-м. н., проф. (НЯЦ РК, Курчатов);*

СИСТЕМА ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ КАЗАХСТАНСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКОГО ТОКАМАКА КТМ

Реализация плазменного разряда на электрофизической установке типа токамак напрямую связана с возможностью выполнения сложных сценариев изменения токов в обмотках. В электромагнитной системе токамака КТМ предусмотрены следующие гальванически не связанные обмотки: TF — обмотка тороидального поля, CS — центральный соленоид, PF1-PF6 — обмотки полоидальных полей, HFC — обмотка быстрой вертикальной стабилизации плазмы [1]. Импульсная мощность, потребляемая токамаком КТМ, составляет около 120 МВА при длительности импульса порядка 5 секунд [2].

При реализации системы импульсного электропитания токамака актуальными являются задачи повышения надежности работы источников питания, удобство обслуживания и ремонта, повышение гибкости подстройки схем импульсного электропитания по отношению к меняющимся условиям экспериментов. В системе электропитания токамака КТМ для решения перечисленных задач применены следующие подходы [3]:

1. Блочное-модульное исполнение силового оборудования на основе унифицированных тиристорных преобразователей (УТП).
2. Использование комплекса технических средств, позволяющего осуществлять диагностику каждого силового полупроводникового прибора в режиме реального времени.
3. Синхронизация преобразователей с питающей сетью от общего источника синхроимпульсов.
4. Использование цифровых схем и программных методов измерения параметров, синхронизации и управления.
5. Использование специализированных алгоритмов управления, противоаварийной защиты и автоматики.

Литература

1. **Азизов Э. А., Тажибаева В. С.** Казахстанский материаловедческий токамак КТМ и вопросы термоядерного синтеза. Алматы, 2006. — 236 с.
2. **Polyakov V., Minkov V., Raspopin V., Zarva D.** TOKAMAK KTM. The power supply system // 19th IAEA TM on Research Using Small Fusion Devices. Kurchatov, Kazakhstan, 2009.
3. **Матаннанов И. И., Зарва Д. Б., Павлов В. М.** Разработка модели источника импульсного электропитания центрального соленоида токамака КТМ // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: Тезисы докладов VII Международной научно-практической конференции. Томск: ТПУ, 2015. — 322 с.

*А. В. Галимова, студент;
рук. А. А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАВИН И ЛАВИННО-СТРИМЕРНЫХ ПЕРЕХОДОВ В СИЛЬНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Электронные лавины определяют условия формирования стримерных разрядов, исследования которых, в свою очередь, имеют большое значение в области молниезащиты, высоковольтных электротехнологий, изоляции установок высокого напряжения и т.п. [1]. Поэтому расчет и анализ параметров лавин важен в этих прикладных областях.

Электронная лавина — это компактная группа свободных электронов, дрейфующих в газе и совершающих на своем пути акты ударной ионизации, благодаря чему количество электронов в ней возрастает [1]. Лавина оставляет за собой след из положительных и отрицательных ионов. По мере накопления заряда, лавина трансформируется в стример — квазинейтральный нетермоионизованный плазменный канал с избыточным зарядом на конце. В его поле продолжается ударная ионизация. Критерием лавинно-стримерного (ЛС) перехода в однородном электрическом поле, например, по теории Мика и Леба [2] является выполнение равенства $\alpha(E_0) \cdot L = 18 \div 20$, где E_0 — напряженность поля в промежутке длиной L , α — коэффициент ударной ионизации [1, 2] в газе, заполняющем промежуток.

В работе средствами численного моделирования изучена зависимость $n_{кр}(E_0)$, где $n_{кр}$ — число электронов в лавине в момент ЛС перехода, называемое критическим. Для описания накопления зарядов в лавине использована ее дрейфово-диффузионная математическая модель [1] в конечно-разностной реализации [3]. Значения напряженности однородного электрического поля варьировались в пределах $E_0 = 40\text{--}60$ кВ/см. Показано, что критическое число электронов в лавине медленно возрастает с ростом значений E_0 и в указанном диапазоне близко к $n_{кр} \approx 2 \times 10^7$. Этому соответствует $\alpha L = \ln(n_{кр}) \approx 16,8$, что близко к названному выше диапазону значений.

Литература

1. Электрофизические основы техники высоких напряжений: учебник для вузов — 2-е издание, переработанное и дополненное / И.М. Бортник и др.; под ред. И.П. Верещагина. М: Издательский дом МЭИ, 2010.
2. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. Научное издание / 3-е изд. перераб. и доп. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2009.
3. Белогловский А. А. Верещагин И. П. Трехмерное математическое моделирование стримерного разряда в воздухе с учетом ветвления: экономичный расчет электрического поля // Электричество. 2011. № 11.

*А. И. Гарус, студент;
рук. А. А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

РАЗВИТИЕ МЕТОДА ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ЗАРЯДОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПОЛЕЙ

Существует множество задач, требующих расчета электрических полей. Например, их регулирование в изоляционных конструкциях установок высокого напряжения и электротехнологических установках и т. д. [1].

Прост и эффективен метод эквивалентных зарядов (МЭЗ), основанный на замещении реального непрерывного распределения заряда по поверхностям электродов системой помещенных внутри них фиктивных эквивалентных зарядов (ЭЗ) [1]. Их значения находятся из граничных условий. При расчете двумерных плоскопараллельных полей роль ЭЗ часто играют бесконечные равномерно заряженные оси [1]. МЭЗ имеет преимущества перед методами конечных разностей (МКР) и конечных элементов (МКЭ) [2]: число арифметических действий, нужных для формирования и решения системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) относительно значений ЭЗ, значительно меньше, чем в случае МКР и МКЭ; скорость и точность вычислений выше. Недостаток МЭЗ заключается в том, что при расчете полей сложной конфигурации требуются тысячи ЭЗ, а упомянутая СЛАУ плохо обусловлена. Это ведет к погрешностям ее решения относительно значений ЭЗ, сопоставимым с их точными величинами, что снижает точность расчета напряженности поля [3]. Отсюда возникает задача создания на основе МЭЗ методики, требующей меньшего числа ЭЗ для расчета сложных полей.

Для расчета двумерных плоскопараллельных электрических полей автор предлагает использовать ЭЗ в виде заряженных полос с кусочно-постоянным распределением поверхностной плотности заряда. Получено, что, по сравнению с традиционным МЭЗ, применение таких ЭЗ позволяет добиться более высокой точности расчета напряженности поля при одинаковом их числе или одинаковой точности при меньшем количестве ЭЗ. Очевидно, это создает потенциал для построения на основе МЭЗ более экономичной и аккуратной методики расчета поля.

Литература

1. **Белогловский А. А., Пашинин И. В.** Методы расчета электрических полей в примерах и задачах: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 84 с.
2. **Бобиков В. Е., Верещагин И. П., Коптев А. С., Тихомиров С. В.** Сравнительный анализ численных методов расчета электрических полей // Научные труды МЭИ. № 69. 1985. С. 60–65.
3. **Верещагин И. П., Гусаров А. А., Бобиков В. Е.** Применение регуляризации в методе эквивалентных зарядов // Известия академии наук СССР. Энергетика и транспорт. № 2. 1981. С. 106–114.

*С. А. Гиясова, студент;
рук. А. Г. Темников, к.т.н., доц. (МЭИ, Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РЕШЕНИЕ ОБ ОТКАЗЕ ОТ ТРОСОВОЙ ЗАЩИТЫ НА ВЛ 110–500 КВ

Как показал опыт эксплуатации, применение троса в качестве средства молниезащиты линий не всегда целесообразно. Анализ опыта эксплуатации показал [1], что на ВЛ 110 кВ можно отказаться от грозозащитных тросов в местностях с продолжительностью гроз до 100 ч в год, так как возможный ущерб от наличия тросов значительно превышает ущерб от грозовых отключений после снятия тросов. Применение тросовой защиты с точки зрения технико-экономического анализа имеет и позитивные и негативные моменты, поэтому актуальным на сегодняшний день является анализ возможности отказа от грозозащитных тросов на ВЛ.

Основным недостатком является то, что трос, в случае если оборвется, сам же может стать причиной аварии на ЛЭП.

Основными причинами повреждения тросов являются: коррозия и старение тросов, перегорание тросов при КЗ, гололедно-ветровые нагрузки, дефекты монтажа и прочие причины. Повреждения тросов составляют от 3 до 6,6% от общего числа нарушений с повреждениями ВЛ. Установлено, что более 23% всех повреждений тросов обусловлено протеканием по ним токов короткого замыкания (КЗ) [1]. Помимо этого, стоимость тросов, тросостоек и их крепления к опорам составляет почти четверть стоимости самих опор. Исходя из этого, грозозащитный трос является наиболее дорогостоящим элементом грозозащиты ЛЭП.

Проблема принятия решения о снятии или подвеске грозозащитных тросов является технико-экономической задачей. Во многом, эти решения зависят от числа грозовых отключений ВЛ с тросами и без них. В работе представлены результаты расчетов грозовых отключений ВЛ 110–500 кВ.

Для линий без троса с увеличением сопротивления заземлителя с 5 до 50 Ом число грозовых отключений возрастает в 1,63 раз для ВЛ 110 кВ (с 16,82 до 27,46), в 1,41 раз для ВЛ 220 кВ (с 16,08 до 22,76) и в 1,19 раз для ВЛ 500 кВ (с 12,794 до 15,271).

Для линий с тросами с увеличением сопротивления от 5 до 50 Ом, число грозовых отключений возрастает на 8,91 раз для ВЛ 110 кВ (с 1,031 до 9,188), в 5,1 раз для ВЛ 220 кВ (с 0,116 до 5,925) и в 2,9 раз для ВЛ 500 кВ (с 0,242 до 3,18).

Литература

1. Шишкина О. Г., Коротаев А. М. // Электрические станции, 1997, № 5.

А. А. Лебедев, студент; рук. Т. Г. Климова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВОЗМОЖНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДАННЫХ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ

«СО — ЦДУ ЕЭС» создало в России систему мониторинга переходных режимов (СМПР) в которой на устройствах синхронизированных векторных измерений (УСВИ) была реализована регистрация параметров электроэнергетического режима [1].

УСВИ выполняют с нормированной точностью измерения синхронизированных векторов фазных токов и напряжений, частоты, скорости изменения частоты и передают эти параметры в концентратор синхронизированных векторных данных (КСВД) [2]. Эта технология позволяет фиксировать параметры в различных точках ЭЭС в едином временном поле, благодаря чему появляется возможность решения задач мониторинга, управления, оценки состояния, моделирования и визуализации работы ЭЭС и поиска мест повреждения в режиме реального времени [3].

Через отключений в энергосистемах стала дополнительным стимулом для широкого развития УСВИ. Из-за аварий энергосистема несет большие убытки, следовательно, имеет смысл рассмотрение возможностей идентификации аварийных ситуаций (АС) для их возможного предотвращения.

Было проведено распознавание опасностей системы на основе качественного и количественного анализа данных. Учет АС необходимо начинать с идентификации типа повреждения. Были исследованы показатели нескольких УСВИ, выявлены закономерности, благодаря которым можно определить вид повреждения. Так же создан алгоритм, по средствам которого определяется ближайшее к повреждению УСВИ.

После определения типа аварии и ее места на АРМ выводится соответствующее сообщение с указанием характера повреждения и порядковым номером УСВИ.

Литература

1. **Жуков А. В., Дубинин Д. М., Опалев О. Л.** Развитие систем мониторинга и управления в ЕЭС России на платформе векторных измерений параметров // Электро Энергия. 2014. Т. 23 № 2.
2. **СТО 59012820.29.020.011-2016.** Стандарт релейная защита и автоматика. Устройства синхронизированных векторных измерений. Нормы и требования
3. **Помазков М. С., Цебровский А. Д.** Разработка устройства синхронизированных векторных измерений // Электронный научно-практический журнал «МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК». 2016 № 5.

К. А. Смагин, асп.; рук. С. И. Хренов, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ УНИПОЛЯРНОГО КОРОННОГО РАЗРЯДА

Униполярный коронный разряд применяется во многих высоковольтных электротехнологических процессах (электрогазоочистка, электросепарация материалов, электропечать и др.) для создания ионов. Численные расчеты коронного разряда позволяют оптимизировать параметры электродной системы электротехнологической установки. Автором работы предлагается инженерная методика расчета коронного разряда, основанная на решении следующей системы уравнений:

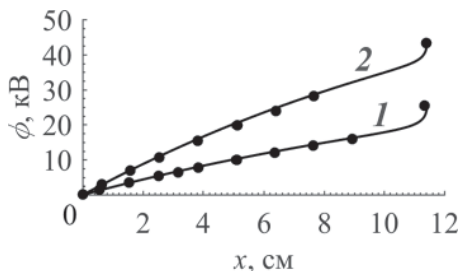


Рис. 1. Распределение потенциала в системе электродов «ряд проводов между плоскостями» вдоль линии перпендикулярной плоскости при $y=7,6$ см; 1 — $U=25,5$ кВ; 2 — $U=43,5$ кВ; — расчёт; • экспериментальные данные [1]

$$\begin{cases} \operatorname{div} \mathbf{E}_{\text{эл.ст.}} = 0, \\ \operatorname{div} \mathbf{E}_{\rho} = \rho / \varepsilon_0, \\ \operatorname{div} \rho k \mathbf{E} = 0, \quad \mathbf{E} = \mathbf{E}_{\text{эл.ст.}} + \mathbf{E}_{\rho}, \\ \frac{d\rho_{\text{к.э.}}}{dt} = \left(\frac{E_{\text{эл.ст. к.э.}} - E_0}{E_{\rho \text{ к.э.}}} - 1 \right) \frac{\rho_{\text{к.э.}}}{\tau}, \end{cases} \quad (1)$$

где \mathbf{E} — вектор напряженности электрического поля, $\mathbf{E}_{\text{эл.ст.}}$ — напряженность, создаваемая зарядом на электродах, \mathbf{E}_{ρ} — напряженность, создаваемая объемным зарядом ионов, E_0 — начальная напряженность, ρ — объемная плотность заряда ионов, k — подвижность ионов τ — «фиктивная» постоянная времени, индекс к.э. означает, что соответствующая величина относится к поверхности коронирующих электродов.

Расчет по (1) производится до времени $t = 5\tau$, при котором напряженность на поверхности коронирующих электродов становится равной начальной. Методика расчета, базирующаяся на уравнениях (1), удобна для реализации с помощью модулей программы COMSOL Multiphysics. Проведенные расчеты показывают хорошее совпадение с имеющимися в литературе экспериментальными данными (рис. 1).

Литература

1. Penney G. W., Matick R. E. Potentials in D-C corona fields // Trans. Am. Inst. Electr. Eng. Part I Commun. Electron. 1960. Vol. 79. № 2.

*Д. О. Благоразумов, студ.; рук. А. А. Волошин, к.т.н., ст. преп.;
А. И. Расщепляев, ст. преп.; Т. Г. Бусыгин, асс; Е. А. Волошин, асс.*

СПОСОБ БЛОКИРОВКИ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ В НАГРУЗОЧНЫХ РЕЖИМАХ

Актуальность и значимость темы обусловлена выявлением в процессе эксплуатации электрических сетей 110 кВ и выше случаев ложной работы дистанционной защиты (ДЗ) в нагрузочных режимах, после отключения КЗ на смежных ВЛ в кольцевых схемах электрических сетей. В связи с этим возникает необходимость выявления причин неправильной работы ДЗ, с целью разработки технических решений по предотвращению их неправильной работы.

В рамках настоящей работы были исследованы случаи ложной работы ДЗ в ЕЭС России и выявлены причины неправильной работы ДЗ. Одной из таких причин является отсутствие блокировок от различных режимных ситуаций, таких как увеличение перетока мощности по ВЛ, вследствие отключения смежных линий в кольцевой сети, увеличение перетока реактивной мощности через АТ, вследствие переключений РПН АТ. Другой причиной неправильной работы ДЗ является отсутствие отстройки от маловероятных нагрузочных режимов.

Для исключения неправильного функционирования ДЗ разработан и исследован способ блокировки дистанционной защиты в нагрузочных режимах. Разработанный способ заключается в использовании индивидуальных пусковых органов (ПО) по приращению токов прямой и обратной последовательности за период промышленной частоты, с вводом в работу на время, достаточное для срабатывания ступени ДЗ. С целью проверки правильности функционирования разработанного способа блокировки ДЗ, проведены его испытания в различных схемно-режимных ситуациях на программно-аппаратном комплексе моделирования энергосистем в реальном времени RTDS. Проведенные испытания подтвердили правильность функционирования и эффективность разработанного алгоритма во всех схемно-режимных ситуациях.

Для внедрения разработанного алгоритма в существующие МП терминалы исследованы функциональные возможности МП терминалов РЗ производства Siemens, GE, ABB, Alstom, ЭКРА. Выявлено, что возможность реализации предложенного алгоритма с использованием встроенных средств «гибкой» логики существует только в терминалах GE и ABB.

Литература

1. **Циглер Г.** Цифровая дистанционная защита: принципы и применение. Перевод с английского. Под редакцией: Дьякова А. Ф. Энергоиздат, 2005 г.

СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЕ — РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА	3
Секция 1. Теоретические основы радиотехники	5
Секция 2. Формирование колебаний и сигналов	14
Секция 3. Устройства обработки радиосигналов	29
Секция 4. Антенные устройства и распространение радиоволн	47
Секция 5. Радиолокация и телевидение	67
Секция 6. Системы радиоавтоматики и радиоуправления	83
Секция 7. Сети и системы передачи информации	95
Секция 8. Квантовая электроника	104
Секция 9. Фотоника	127
Секция 10. Промышленная электроника	141
Секция 11. Электроника и нанoeлектроника	157
Секция 12. Биомедицинская электроника	176
НАПРАВЛЕНИЕ — ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	205
Секция 13. Математическое моделирование	207
Секция 14. Прикладная математика	224
Секция 15. Вычислительная техника и САПР	250
Секция 16. Вычислительные машины, сети и системы	256
Секция 17. Управление и информатика в технических системах	277
Секция 18. Вычислительно-измерительные системы	309
Секция 19. Прикладная информатика	313
Секция 20. Неразрушающий контроль и диагностика	331
НАПРАВЛЕНИЕ — ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ	351
Секция 21. Электромеханические преобразователи энергии	353
Секция 22. Физика и технология материалов и компонентов	366
Секция 23. Электротехнические и электромеханические системы и комплексы	384

Секция 24. Электрические и электронные аппараты	400
Секция 25. Электропривод и автоматика	423
Секция 26. Промышленные электротермические установки	455
Секция 27. Электрический транспорт	481
 НАПРАВЛЕНИЕ — ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ	 489
Секция 28. Инженерная экология.	491
 НАПРАВЛЕНИЕ — ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ	 511
Секция 29. Экономика в энергетике и промышленности	513
Секция 30. Менеджмент в энергетике и промышленности	548
Секция 31. Информационные технологии и информационная безопасность	582
 НАПРАВЛЕНИЕ — ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА ПРЕДПРИЯТИЙ.	 613
Секция 32. Промышленная электроэнергетика	615
Секция 33. Энергетика теплотехнологии	617
Секция 34. Процессы и аппараты промышленной теплоэнергетики	642
Секция 35. Энергосбережение и промышленная экология	651
Секция 36. Промышленные теплоэнергетические системы	665
Секция 37. Электрохимическая и водородная энергетика	711
Секция 38. Экономика теплоэнергетики	719
 НАПРАВЛЕНИЕ — ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОФИЗИКА.	 741
Секция 39. Атомные электрические станции и установки	743
Секция 40. Проблемы термоядерной энергетики и плазменные технологии	759
Секция 41. Теплофизика	771
Секция 42. Техника и физика низких температур	806
Секция 43. Нанотехнологии.	819
 НАПРАВЛЕНИЕ — ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА.	 829
Секция 44. Котельные установки и охрана окружающей среды	831

Секция 45. Технология воды и топлива на ТЭС и АЭС	862
Секция 46. Схемы и режимы работы тепловых электрических станций	883
Секция 47. Контроль, автоматизация и управление в энергетике	895
НАПРАВЛЕНИЕ — ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЕ	921
Секция 48. Энергетические установки и двигатели	923
Секция 49. Проблемы технологии, надежности и конструирования	969
Секция 50. Робототехнические и мехатронные системы	980
НАПРАВЛЕНИЕ — ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА	995
Секция 51. Электроэнергетические системы	997
Секция 52. Электроснабжение	1014
Секция 53. Электрические станции	1029
Секция 54. Возобновляемые источники энергии	1057
Секция 55. Электрофизика и системы управления электроэнергетических объектов	1086

Научное издание

**РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
И ЭНЕРГЕТИКА**

**Двадцать четвертая Международная научно-техническая
конференция студентов и аспирантов**

Тезисы докладов

Корректор Макеева Е.И.
Компьютерная верстка и подготовка
оригинал-макета Трухтанова Е.А.

Подписано в печать 01.03.2018 г. Формат 60 x 90/16.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 70.
Тираж 150 экз. Заказ № 013-02/18.

Оригинал-макет и полиграфические работы —
ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“».
Тел.: (495) 739-5680.
<http://www.raduga-print.ru>
<http://www.radugaprint.ru>