НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

XXVI Международная научно–техническая конференция студентов и аспирантов

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА

12–13 марта 2020 г. МОСКВА

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ “МЭИ“

АКАДЕМИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

АССОЦИАЦИЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ ОТДЕЛОВ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ (АМО)

РОССИЙСКО-КИРГИЗСКИЙ КОНСОРЦИУМ ТЕХНИЧЕСКИХ
УНИВЕРСИТЕТОВ

РОССИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ СИГРЭ

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА

ДВАДЦАТЬ ШЕСТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

12–13 марта 2020 г.

МОСКВА

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МОСКВА НИУ МЭИ 2020

УДК 621.3+621.37[(043.2)]
Р 154

Р 154 РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Двадцать шестая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (12–13 марта 2020 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2020. — 1156 с.

ISBN 978-5-907292-11-6

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

Ректор МЭИ ***Н.Д. Рогалев***
Проректор МЭИ ***В.К. Драгунов***
Первый проректор МЭИ ***В.Н. Замолодчиков***
Проректор МЭИ ***А.Е. Тарасов***
Доцент каф. ЭЭС МЭИ ***Р.Р. Насыров***
Директор ИЭТ МЭИ ***С.А. Грузков***
Директор ИРЭ МЭИ ***И.Н. Мирошникова***
Директор ИТАЭ МЭИ ***А.В. Дедов***
Директор ИЭЭ МЭИ ***В.Н. Тульский***
Директор ИВТИ МЭИ ***С.В. Вишняков***
И.о. директора ЭнМИ МЭИ ***И.В. Меркурьев***
Директор ИЭВТ МЭИ ***С.В. Захаров***
Директор ИнЭИ МЭИ ***А.Ю. Невский***
Директор ИГВИЭ МЭИ ***Т.А. Шестопалова***
Директор ГПИ МЭИ ***А.Б. Родин***
Зам. директора ВИИ МЭИ ***В.И. Ивахненков***
Зав. каф. ИЭиОТ МЭИ ***О.Е. Кондратьева***
Зав. каф. МЭП МЭИ ***Н.Л. Кетоева***
Директор филиала МЭИ в г. Смоленске ***А.С. Федулов***
Директор филиала МЭИ в г. Волжский ***М.М. Султанов***
Директор филиала МЭИ в г. Душанбе ***С.А. Абдулкеримов***
Директор филиала МЭИ в г. Конаково (Энергетический колледж) ***Ю.Б. Кузин***

ISBN 978-5-907292-11-6

9 785907 292116 >

© Авторы, 2020
© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2020

Направление

РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Директор ИРЭ, д.т.н., профессор
И.Н. Мирошникова

Секция 1.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОТЕХНИКИ

Председатель секции — Шалимова Елена Владимировна
Секретарь секции — Шалимова Елена Владимировна

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

ВЛИЯНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ЩЕЛИ НА ПЕРЕДАЧУ ЭНЕРГИИ В ПОЛУЭКРАНИРОВАННОМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ

Цель настоящей работы — исследование влияния излучения прямоугольной щели на параметры полуэкранированного диэлектрического волновода (ПЭДВ), в том числе изогнутого [3] (рис. 1). Основная задача — это определение коэффициента передачи энергии при наличии продольной щели в металлической пластине, как плоской, так и изогнутой в плоскости нормали к пластинам, находящейся на выпуклой и вогнутой сторонах волновода.

Исследования различных типов антенн на базе ПЭДВ рассмотрено в [1] и [2]. В наиболее близкой работе [1] исследовалось излучение щели и системы щелей с плоской поверхности, что и побудило провести исследования на цилиндрической поверхности.

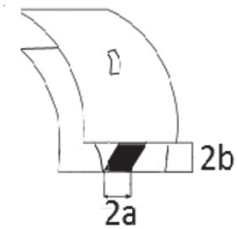


Рис. 1. Поперечное сечение ПЭДВ

В результате работы получены зависимости потерь в ПЭДВ за счет влияния щели при различных параметрах. Получены эмпирические соотношения для коэффициента передачи в зависимости от радиуса кривизны ПЭДВ и параметров щели. Выяснилось, что радиус изгиба ПЭДВ слабо (0,05 дБ) влияет на коэффициент передачи [4], при этом щель на выпуклой поверхности в несколько раз сильнее излучает в пространство, чем щель на вогнутой стороне.

В перспективе, используя щелевые антенны на базе ПЭДВ, возможно создание управляемых антенных устройств для систем связи 5G.

Литература

1. **Beuerle B.** Non-Radiating Waveguide With High Permittivity Dielectric and Antennas Based on it. Dresden University of Technology, 2010. 149 p.
2. **Terashima K., Yoshida N., Fukai I.** Analysis of radiation characteristics of NRD guide leaky-wave antenna by spatial network method // Electronics Letters, 1988.
3. **Крутских В.В.** Функциональные узлы на полуэкранированных диэлектрических волноводах. Дис. М., МЭИ, 2005.
4. **Гурьянов А.Ю., Крутских В.В.** Инженерный расчет и оптимизация параметров полуэкранированного диэлектрического волновода в неизлучающем режиме // Вестник Московского Энергетического Института. 2017, №1, с. 92-97.

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

УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИСКОВЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ

Диэлектрические резонаторы (ДР) из новых материалов позволяют решать ряд проблем, таких, как уменьшение габаритных размеров, массы и, соответственно, стоимости радиоэлектронной аппаратуры при одновременном повышении ее надежности, устойчивости и расширению функциональных возможностей.

В настоящей работе для проверки параметров ДР был создан прототип устройства, позволяющего проводить измерения добротности и номера моды ДР. В основе разработанной конструкции лежат методики измерения параметров резонаторов, описанные в [1] и [2], а для устройств на NRD — в [3]. При переходе к NRD конструкция изменится незначительно. Расчет ДР приведен в работе [4]. Структурная схема измерительного блока (рис. 1) состоит из генератора (1), диэлектрического волновода (2), диэлектрического резонатора (3), детекторной головки (4), отражателя (5), зонда (6) или системы зондов с сервоприводом.

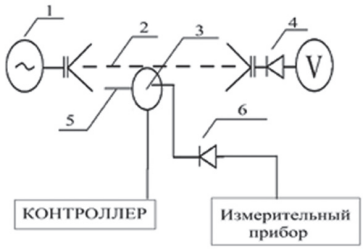


Рис. 1. Структурная схема устройства измерения параметров дисковых ДР

Для определения номера моды требуется провести измерения распределения электромагнитного поля в трех пространственных координатах и по полученным данным определить тип моды.

В настоящий момент, данный измерительный блок позволяет получать номер моды, а в дальнейшем предполагается расширить функциональные возможности для измерения параметров добротности, диэлектрической проницаемости и тангенса диэлектрических потерь.

Литература

1. **Взятышев В.Ф.** Диэлектрические волноводы. М.: Советское радио, 1970.
2. **Ильченко М.Е.** Диэлектрические резонаторы. М.: Радио и связь, 1989.
3. **Гурьянов А.Ю., Крутских В.В**. Инженерный расчет и оптимизация параметров полуэкранированного диэлектрического волновода в неизлучающем режиме // Вестник МЭИ. 2017. Vol. 1. P. 92–97.
4. **Добромыслов С.В.** Вычислительная программа для расчета характеристик открытых дисковых диэлектрических резонаторов с азимутальными колебаниями. М.: МЭИ, 1991.

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

О ВОЗМОЖОСТИ NRD ВОЛНОВОДОВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В КВЧ ДИАПАЗОНЕ МЕЖДУ СБИС

В связи с большим ростом объемов данных передаваемых между СБИС (например, между процессором и ОЗУ) требуется увеличивать полосу (ширину) каналов передачи данных. На сегодняшний день предлагают использовать различные каналы от полосковых линий передачи до оптических [1]. Наиболее интересные работы относятся к использованию диэлектрического волновода как канала связи между навесными компонентами [2]. В работе предлагается использовать канал внутри печатной платы, а именно полуэкранированный диэлектрический волновод (ПЭДВ), поскольку этот волновод обладает меньшими потерями, чем SIW или SINDR волновод [3], и оказывается более защищенным, чем открытый, от различных внешних факторов. С точки зрения технологии более простым, чем навесной. Структурная схема системы передачи данных между чипами приведена на рис.1.

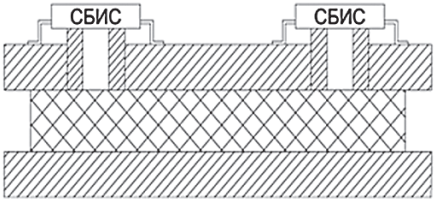


Рис. 1. Структурная схема канала связи между СБИС на ПЭДВ

Микросхемы включаются в СВЧ тракт, находящийся внутри печатной платы, через волноводный или коаксиальный фланец на нижней ее части.

Потенциал данной технологии может быть применим в системах 5G для формирования антенн с маленькими габаритами и электронным управлением диаграммы направленности.

В результате работы были получены первые оценки возможности применения этой технологии в различных диапазонах частот от 25 до 53 ГГц.

Литература

1. **Kash J. A., Doany F. E. , e.t.** Chip-to-chip optical interconnects,» in *Optical Fiber Communication Conference and Exposition and The National Fiber Optic Engineers Conference*, Technical Digest (CD) (Optical Society of America, 2006), paper OFA3.
2. **Utpal Dey, Jan Hesselbarth.** Building Blocks for a Millimeter-Wave Multiport Multicast Chip-to-Chip Interconnect Based on Dielectric Waveguides. Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on, 2018.
3. **Xiaojun Hu, Fan Li, and Feng Xu.** Transition of CPW to SINRD guide of PCB version. Microwave and optical technology letters, Wiley Periodicals, 2017.

Меркулов А.А. асп.; рук-ли С.А. Жгун, к.т.н., с.н.с.; Швецов А.С., к.т.н., асс.; Г.Д. Лобов, к.т.н., профессор (НИУ МЭИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИЙ ВРАЩАЮЩИХСЯ КАМЕРТОНОВ С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСНОГО ОПРОСА ПАВ ДАТЧИКОВ

Обеспечение длительной работоспособности дорогостоящего оборудования и объектов — важная задача, что делает актуальным разработку и исследование датчиков и систем для осуществления опроса состояния объектов. Представленный в исследовании датчик потенциально способен работать в условиях, ограничивающих использование альтернативных датчиков и опрашивающих систем [1]. В качестве удобной модели для исследования выбран камертон из соображений простоты понимания ожидаемых результатов. Камертон приводится во вращение двигателем. Для возбуждения колебаний вращающийся камертон подвергается ударному воздействию, вследствие чего возникает продолжительная вибрация. Вибрация, воздействуя на датчик, изменяет его АЧХ. В ходе работы осуществля-

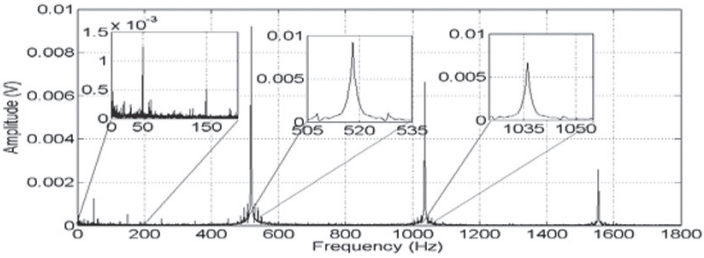


Рис. 1. Спектр ЧМ-демодулированного сигнала при вращении камертона

ется выбор параметров сигнала, используемого для опроса датчика. Сигнал от датчика представляет собой амплитудно-частотно модулированный сигнал. Спектр демодулированного сигнала приведен на рисунке 1.

В ходе работы удалось осуществить опрос пассивного датчика (не содержащего активных электронных компонентов и элементов питания) на расстоянии около одного метра между антеннами. Проведена оценка чувствительности датчика к деформации. Изменение деформации на 10^{-6} приводит к изменению резонансной частоты приблизительно на 200 Гц, что составляет около 10^{-6} от его резонансной частоты.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-32-90090.

Литература

1. **Maskay A., Hummels D. M., Pereira da Cunha M**., “High-temperature Microwave Acoustic Vibration Sensor,” IEEE Ultrasonics Symposium, 2018, pp. 1516.

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

ОБНАРУЖЕНИЕ КОНЕЧНОЙ ТОЧКИ В РЕЧЕВОМ СИГНАЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕГО СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭНТРОПИИ И СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Распознавание речи делится на следующие процедуры: предварительная обработка речевых сигналов; выделение признаков; классификация паттернов [1-2]. Для достоверного распознования очень важно определение начала и конца речевого сигнала слова. Вычисление спектральной энтропии позволяет выделить вокализованный и не вокализованный звуки, в отличие от других методов, как вычисление кратковременной энергии и скорости пересечения нуля [3], точность которых

а) **б)**

Рис. 1. Обнаружение конечной точки слова «будэг» вычислением спектральной энтропии и применением теоремы центрального лимита теории вероятностей: а) при отношении сигнал/шум 54,7дБ; б) при отношении сигнал/шум 20дБ. Шкала по вертикальной оси нормирована. Формат файла с расширением wav с частотой дискретизации 8кГц и разрядностью 16 битов.

в присутствии шума уменьшается, а при этом нужно рассчитать пороговое значение начальной и конечной точки [4]. Пороги определены теоремой центрального лимита теории вероятностей. Для примера был выбран аудио файл слова монгольского языка «будэг» из базы данных.

Из рис.1 можно сделать вывод, что применение метода вычисления спектральной энтропии и центрального лимита теории вероятностей существенно повышает возможность обнаружения конечной точки речевого сигнала.

Литература

1. **Bhushan C. Kamble.** Speech recognition using artificial neural network – A Review // International *Journal of Computing, Communication* and *Instrumentation Engineering* (*IJCCIE*), 2016. http://iieng.org/images/proceedings_pdf/U01160026.pdf.
2. **Lawrence Rabiner, Biing-Hwang Juang**. Fundamentals of speech Recognition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. 1993.
3. **Bitopi S. Talukdar P.H.** Zero crossing rate of the voice and unvoiced speech signal of assamese words // International Journal of Scientific & Engineering Research, vol 7, Issue 12, 2016
4. **K. Waheed, K. Weaver, F.M. Salam**. A robust algorithm for detecting speech segments using an entropic contrast // Circuits and Systems MWSCAS, vol 3, pp 328-331, 2002.

М.В. Акулов, студент; рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗКИХ НЕРЕГУЛЯРНОСТЕЙ НА БАЗЕ ПЭДВ

Одним из наиболее перспективных типов линии передачи в миллиметровом диапазоне волн является диэлектрический волновод (ДВ) и полуэкранированный ДВ (ПЭДВ) [1]. Регулярные ДВ и ПЭДВ хорошо изучены, а знания о нерегулярностях в ПЭДВ еще имеют пробелы.

Известно, что нерегулярности делятся на две группы: плавные и резкие. В настоящее время строгий теоретический анализ первых [2] в значительном числе случаев возможен. Резкие же нерегулярности теоретически строго рассматривать не удается, поэтому часто прибегают к приближенным методам [3]. Однако точность их определяется для конкретной задачи. Особенности ДВ и ПЭДВ вынуждают применять новый подход к изучению резких нерегулярностей в них.

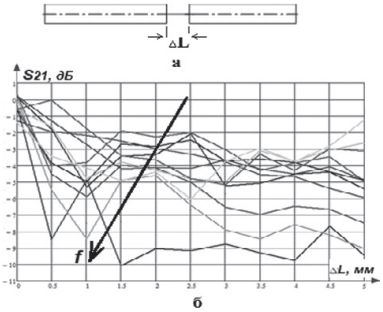


Рис. 1. Нерегулярность типа «зазор» (а) и зависимость коэффициента S21 узла с резкой нерегулярностью типа «зазор» от его величины на различных частотах (б).

В настоящей работе была поставлена задача оценить границы применимости приближенных методов, а также исследовать самые очевидные виды резких нерегулярностей в тракте ПЭДВ.

Первый этап исследования проводился на численной модели полуэкранированного диэлектрического волновода с нерегулярностями различного вида на частотах от 23 до 37 ГГц с последующей обработкой и получением эмпирических соотношений.

Пример зависимостей с резкой нерегулярностью вида «зазор» представлен на рис. 1. В результате обработки получены соотношения, связывающие ослабление сигнала в тракте за счет зазора и влияние на ослабление частоты сигнала в тракте.

Литература

1. **Крутских В.В.** Функциональные узлы на полуэкранированных диэлектрических волноводах. Дисс. к.т.н. М: МЭИ (ТУ). 2005.
2. **Шевченко В.В.** Плавные переходы в открытых волноводах. М: Наука, 1969.
3. **Агаян Ю.М.** Теоретическое и экспериментальное исследование резких нерегулярностей в диэлектрических волноводах. Дисс. к.т.н. М: МЭИ. 1974.

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

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БЕСПРОВОДНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ЗАДАЧ УДАЛЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Развитие микроэлектроники и коммуникационных технологий привело к необходимости осуществления беспроводных способов обмена данными, так как прокладывать и использовать традиционное проводное соединение зачастую оказывается нецелесообразно или вообще невозможно.

В настоящее время широко распространены различные беспроводные интерфейсы связи. Поэтому весьма логичным представляется идея о проведении их сравнительного анализа применительно к задачам дистанционного измерения и управления, традиционно возникающих при решении различных радиотехнических и инженерных задач для Интернета Вещей (IoT — Internet of Things) и Промышленного Интернета Вещей (IIoT — Industrial Internet of Things).

В настоящей работе рассматривается сравнение трёх беспроводных интерфейсов связи Bluetooth, Wi-Fi и LoRa, каждый из которых, представлен отдельным модулем HC-06, nRF24L01 и LoRa32u4 соответственно. Функционирование модулей осуществляется под управлением микроконтроллера ATmega в составе платы Arduino.

В ходе работы изготовлены образцы приемного и передающего устройств, произведено написание и отладка программного обеспечения для микроконтроллера в среде программирования Arduino IDE. Проведён эксперимент по передаче показаний датчика физической величины по указанным беспроводным интерфейсам, а затем осуществлено сравнение этих интерфейсов по критериям дальности надежной связи, скорости передачи информации и пикового потребления электропитания передающего и приемного устройств. Проведенный анализ позволяет обозначить границы применимости беспроводных интерфейсов в зависимости от поставленных задач и выработать соответствующие рекомендации по их использованию.

Литература

1. **Карвинен Т., Карвинен К., Валтокари В.** Делаем сенсоры: проекты сенсорных устройств на базе Arduino и Raspberry Pi / Пер. с англ. — Москва ООО «И.Д. Вильямс», 2015.
2. **Mikhailov M.S., Strelkov N. O.,** Application of Wi-Fi and LoRa Technologies for Wireless Measurement of Physical Quantities / 2019 International Youth Conference on radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE) / Moscow, Russia, 2019, pp. 1-4.

Е.В. Кондрашов, студ.; рук. С.В. Владимиров к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

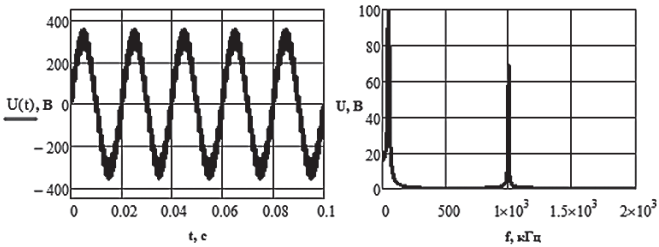
ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО ПОМЕХАМ, ГЕНЕРИРУЕМЫМ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ СЕТЬ

Стремительный прогресс в сфере информационных технологий дает человечеству огромные преимущества в большом спектре направлений жизнедеятельности. С усложнением технологий растет и потребность государства в более эффективном и точном контроле населения и крупных предприятий в целях государственной безопасности и обеспечения правопорядка.

Электроприборы, используемые как в быту, так и в промышленном производстве, обычно генерируют электрические помехи в сетях питания. Для каждой отдельно взятой модели электрического прибора эти помехи имеют характерные особенности (спектр, вид осциллограммы, период повторения помехи и пр.), что позволяет классифицировать приборы и выявить в дальнейшем тип (модель) используемого прибора с помощью специального прибора-анализатора, подключенного к питающей электросети [1]. Это позволит пресечь недопустимое использование определенного оборудования. По помехам также возможно судить о работоспособности прибора.

Актуальность данной работы состоит в исследовании методов обнаружения и диагностики подключенных приборов по генерируемым помехам.

Анализируется дальность распространения помех, их типы, способы определения конкретных моделей приборов, возможность диагностики неисправностей приборов. Разрабатывается анализатор помех.



а) б)

Рис. 1. Моделирование помехи: а – осциллограмма; б – спектр.

Подробные результаты исследований приведены в докладе.

Литература

1. **Степанов П. И., Закураев В.В.** Разработка блока принятия решений на основе нейронной сети для определения технического состояния электромеханического оборудования. // Современные проблемы физики и технологий. VI-я Междунар. научн. шк.-конф., Тез. докл., Ч. 1. – М.: НИЯУ МИФИ, 2017.С. 131-132.

М.К. Солнцева, студ.; рук. В. С. Фланден, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МАКЕТА УНИВЕРСАЛЬНОГО УЧЕБНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Потребность в обучающих стендах наблюдается в любых высших учебных заведениях. Для обеспечения профессиональной компетентности выпускников вузов применяют не только лекционные занятия, но и выполнение практических работ в учебных лабораториях, где созданы условия, позволяющие смоделировать определенные воздействия в производственной среде. Такие приспособления максимально наглядно демонстрируют технологические процессы, позволяют эффективно познавать новый материал, приобретать практические навыки. Любое наглядное пособие помогает студентам быстрее осмыслить подаваемый материал.

Целью данной работы является разработка универсального динамического учебного лабораторного стенда по направлению «Радиотехника».

Требуется разработать набор циклов лабораторных работ под определенные тематики по дисциплинам «Введение в специальность», «Электротехника», «Радиотехнические цепи и сигналы», «Основы теории цепей», «Электроника и схемотехника». После формирования основного комплекта описаний планируемых экспериментов формируется техническое задание на разработку макета.

Общими требованиями к стенду являются: простота в использовании; наглядность; надежность; простота технического обслуживания. Стенды по схожим тематикам легко можно найти в продаже [1], но как показала практика их использования: ни про надежность, ни про простоту технического обслуживания в них не идет речи. Функциональность часто тоже не соответствует требованиям направления.

В ходе работы сформированы идеи нескольких циклов лабораторных работ. Получена оценка требований к элементной базе. На основе полученных данных разработан тестовый дизайн макета универсального учебного лабораторного стенда и первичная комплектация деталей.

В дальнейшем планируется более детальная проработка курса лабораторных работ и на её основе составление конкретного технического задания для создания стенда.

Литература

1. Сайт учебная техника и наглядные пособия от производителя «Учтех-профи» [электронный ресурс]/ Режим доступа: открытый. URL: http://labstand.ru/catalog/et (дата обращения 18.12.2019 г.)

В.Р. Жеребин, студ.; рук. А.А. Кальщиков, асп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩЕГО МОДУЛЯ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА

Неразрушающий контроль является неотъемлемой частью технологического цикла современного производства на большинстве его этапов. Поэтому снижение стоимости устройств неразрушающего контроля при сохранении основных показателей качества представляет практический интерес. В задачах ультразвуковой диагностики хороший электроакустический преобразователь (ЭАП) обеспечивает качественные характеристики устройства неразрушающего контроля, однако стоимость одного такого преобразователя часто будет превышать себестоимость остальной электронной компонентной базы [1–2].

Цель работы заключается в сокращении числа ультразвуковых преобразователей с сохранением основных показателей качества ультразвукового дефектоскопа импульсного типа.

Предложено использование быстродействующих реле, которые коммутируют электрические сигналы приемника и передатчика на один электроакустический преобразователь. Таким образом, один ЭАП исполняет роль излучателя и приемника в полудуплексном режиме. На рисунке 1 изображена структурная схема приемопередающего модуля. Синтезатор формирует зондирующий сигнал на передачу. Реле управляются с помощью взаимоисключающего сигнала «RX/TX». Оцифрованные отсчеты проходят через эквалайзер (КИХ-фильтр), который выравнивает комплексный коэффициент передачи приемопередающего модуля. Усилители на прием и передачу в схеме не показаны.

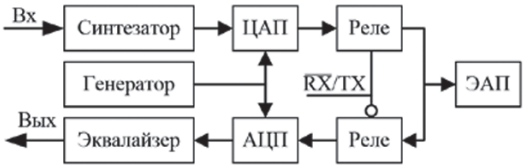


Рис. 1. Блок-схема приемопередающего модуля

Сравнительные испытания показывают, что приведенная схема совмещенного приемопередатчика в одном электроакустическом преобразователе отлично подходит для проведения неразрушающего ультразвукового контроля изделий и не ухудшает качественные параметры конечного дефектоскопа.

Литература

1. **Выборнов Б.И.** Ультразвуковая дефектоскопия. М.: Металлургия, 1985.
2. **Кечиев Л.Н.** Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры. М.: ООО «Группа ИДТ», 2007.

А.М. Ибрагимов, студ.; рук. А.А. Кальщиков, асп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ НЕЖЕЛАТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ИЗ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Сегментация изображения и удаление нежелательных объектов являются неотъемлемой частью компьютерного зрения, особенно там, где необходимо работать с большими данными. Аппаратно-программный комплекс может быть использован при обработке большого потока данных, в задачах, где требуется быстрое автоматическое принятие решений. Например, такими задачами могут быть: беспилотное управление автомобилем, автоматизация обработки данных медицинского оборудования (МРТ, ультразвук), разнообразные охранные системы, системы слежения за пользователями в метро, на улице, системы анализа трафика на дорогах.

Целью работы была разработка аппаратно-программного комплекса для удаления нежелательных объектов из видеоизображения в реальном времени. Под нежелательными объектами подразумеваются все динамичные объекты в сцене видеоряда. Таким образом устройство определяет наличие движимого объекта в кадре и замещает его фоновым изображением. В результате на выходе устройства получается адаптивный фон, который может быть использован конечными потребителями, например, в задачах кодирования видео или в составе компьютерного зрения.

Конечный вид аппаратно-программного комплекса включает в себя видеокамеру с разрешением *Full HD* для захвата изображения (или иной канал ввода информации), монитор для вывода изображения (или иной канал вывода информации), исполняющее устройство, к которому подключаются камера и монитор, и устройство, которое осуществляет обработку видеопотока [1].

Научной новизной является применение статистического алгоритма на основе смешанных моделей Гаусса (англ. *Gaussian Mixture Model*) для определения динамических объектов в реальном времени в высоком разрешении *Full HD* (1920×1080) с частотой кадров 30 кадров/с и вероятностью верной сегментации 95% [2].

Литература

1. **Stauffer C., Crimson W.** Adaptive background mixture models for real-time tracking. The artificial intelligence laboratory Massachusetts Institute of Technology Cambridge. Great Britain, 1999.
2. **Quast K., Obermann M., Kaup A.** Real-time moving object detection in video sequences using spatio-temporal adaptive Gaussian mixture model. Multimedia Communications and Signal Processing, University of Erlangen-Nuremberg, 2010.

А.А. Деев, студ.; А.А. Кальщиков, асп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА СЕРДЦЕБИЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Согласно данным министерства здравоохранения РФ сердечно-сосудистые заболевания являются первой причиной смертей в России — 46%. Удаленный контроль параметров сердцебиения, не требующий подключения внешних датчиков к человеку, представляет практический интерес и является актуальной задачей.

Рассматривается алгоритм пространственно-временной обработки видеоизображения, в котором усиливаются незаметные глазу человека мельчайшие движения. Исходное видеоизображение поступает с обычной видеокамеры, захватывается вычислителем и проходит через адаптивный пространственно-временной фильтр.

На первом этапе исходный видеопоток разбивается на каналы по пространственной частоте, после чего производится анализ и подбор коэффициентов усиления в каждом канале во времени. Далее производится формирование обработанного изображения на основании исходных каналов по пространственной частоте, и каналов, прошедших обработку [1–3].

Задача обработки сигналов для видеопотока является вычислительно сложной и требует применения теории статистического анализа и методов анализа в спектральной области с использованием специализированных параллельных вычислителей. Такими вычислителями могут быть цифровые сигнальные процессоры, программируемые логические интегральные схемы, а также графические ускорители для ЭВМ.

Разрабатываемое программное обеспечение может быть применено при удаленной консультации пациента с врачом, в системах контроля за состоянием усталости водителя, и задачах компьютерного зрения. Возможность контроля пульса человека, без непосредственного контакта с датчиком, представляет значительное преимущество в сравнении с существующими аналогами. Дальнейшее усовершенствование алгоритма может быть направлено в сторону определения аномальных отклонений работы сердца человека от нормального ритма, например, аритмии.

Литература

1. **Burt P., Adelson, E.** The Laplacian pyramid as a compact image code. // IEEE Trans. Comm. 31, 1983.
2. **Horn B., Schunck, B.** Determining optical flow//Artificial intelligence 17, 1981.
3. **Liu C., Torralba A., Freeman W. T., Durnard F., Andelson E. H..** Motion magnification. // ACM Trans. Graph 24, 2005.

Х.Л. Фам, асп.; рук. Э.М. Габидулин, д.т.н., проф. (МФТИ, Москва)

КОДЫ, ИСПРАВЛЯЮЩИЕ ДВОЙНЫЕ РЕШЕТЧАТЫЕ ОШИБКИ В ГРАНИЧНО-РАНГОВОЙ МЕТРИКЕ

В некоторых приложениях возникает следующая проблема ошибок: Информационные символы должны храниться в массивах. Некоторые из этих символов по ошибке записаны таким образом, что все искаженные символы находятся в одном или нескольких строках или столбцах (или обоих). Мы называем такие ошибки как гранично-ранговые ошибки [1]. Эти ошибки могут быть найдены в массивах микросхем памяти, в записи магнитной ленты, в демодуляции FSK или в передачах OFDM и FDM.

Пусть код МГРР $C[n\times n,k=(n-d+1)n,d]$ с гранично-ранговым расстоянием d [2]. Если кодовое расстояние $C = d$ то существует способ декодирования этого кода, исправляющего все решетчатые конфигурации ошибок, в которых граничный ранг не превышает величину $t = (d-1)/2$. Поэтому здесь требуется кодовое расстояние $d(C)\geq 5$.

Пусть передавалась кодовая матрица $v=[v_0 v_1 \ \dots \ v_{(n-1)}]$. Пусть принята матрица $y=v+e$, где e — матрица ошибки.

Задача декодера — по известной матрице y найти матрицу ошибки e, а потом получить передававшуюся матрицу v.

По построению, кодовая матрица v удовлетворяет равенствам

$$Tr(vh_l^T)=0, l=1,\dots ,k.$$

Декодирование начинается с вычисления вектора синдрома s:

$$Tr(yH^T) = Tr((v+e)\, H^T)$$
$$Tr(yH^T) = Tr(eH^T)$$
$$Tr(yh_l^T) = Tr(eh_l^T), l=1,\dots ,k.\#(1)$$
$$s_l = Tr(eh_l^T)\#(2)$$

Система (2) имеет k нелинейных уравнений относительно $2n$ неизвестных e_{i1} $e_{i2} \dots e_{in}$ $e_{1j} \dots e_{nj}$. Важно отметить, что в левой части уравнения значения $s_l, l=1,\dots ,k$ известные. Нужно найти одно решение, удовлетворяющее системе уравнений (1). потому что каждое решение из системы уравнений приводит к одному и тому же вектору ошибки e. Чтобы получить v нужно поставить e в уравнение $v=e+y$.

Литература

1. **Габидулин Э.М. Коржик В.** Коды, исправляющие ошибки решетчатой конфигурации // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 1972. Т. 15. № 4
2. **Фам Х.Л.** Коды в гранично-ранговой метрике // Труды МФТИ. 2019. Т. 11. № 2

О.А. Сивинцева, студ.; М.Ю. Зуев, асп., рук. С.С. Логинов, д.т.н., проф. (КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, Казань)

ГЕНЕРАТОРЫ ХАОТИЧЕСКИХ, СЛУЧАЙНЫХ И ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ

В настоящее время являются актуальными задачи, в которых широко востребованы генераторы хаотических, случайных и псевдослучайных сигналов. К таким задачам относят статистическое моделирование, криптографию, полунатурное моделирование систем и др.

Целью работы является аналитический обзор и сопоставление генераторов хаотических, случайных и псевдослучайных сигналов, построенных на различных принципах.

В работе рассматривается четыре типа генераторов случайных сигналов: собственно генераторы случайных сигналов (ГСС), аналоговая реализация генераторов хаотических сигналов (ГХС (А)), генераторы псевдослучайных сигналов (ГПСС) и цифровые генераторы на основе хаотических систем (ГХС (Ц)).

Сигналы, формируемые ГПСС, наиболее полно удовлетворяют критериям равновероятности и некоррелированности, а также воспроизводимости статистических характеристик формируемых сигналов. Достоинством ГПСС является их быстродействие, а основной недостаток — малый период повторения сигналов. ГСС формирует сигналы несколько хуже тех, что формирует ГПСС, но ГСС имеет больший период повторения.

Формирователи хаотических сигналов перспективны для различных приложений за счет возможности управления с помощью малых воздействий. Для ГХС (А) характерна самосинхронизация, однако хаотические сигналы не удовлетворют критерию равновероятности, а значительным их недостатком по сравнению с ГХС (Ц) является низкая воспроизводимость характеристик формируемых сигналов. Основной недостаток ГХС (Ц) — это низкое быстродействие, обусловленное необходимостью реализации процедур численного интегрирования на цифровых вычислителях. В то же время возможность управления корреляционными характеристиками ГХС (Ц) делает их привлектальными для применения в системах связи.

Литература

1. **Логинов С.С.** Генераторы псевдослучайных сигналов на основе системы Лоренца, реализованной над конечным полем Галуа // Нелинейный мир. 2017. Т.15. №5.
2. **M.Yu. Zuev, S.S. Loginov** Generation of pseudo-random signals based on a modified Lorenz system, realized over a Galois finite field. Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. 2018.

Я.Г. Агачева, студ.; М.Ю. Зуев, асп.; рук. С.С. Логинов, д.т.н., проф. (КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, Казань)

НОВЫЕ МЕТОДЫ МОДУЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ OFDM

Развитие современных Smart-технологий требует от систем передачи информации более высоких скоростей, качества обслуживания, устойчивости к многолучевым эффектам. Это делает необходимым поиск новых методов модуляции на основе ортогонального частотного мультиплексирования (OFDM) сигналов.

Целью работы является сопоставительный анализ новых типов модуляции на основе OFDM.

В данной работе рассматриваются такие типы модуляции, как ортогональный множественный доступ с частотным разделением (OFDMA), множественный доступ с разделением каналов по частоте с одной несущей (SC-FDMA), множественный доступ с распределением ресурсов (RSMA).

В методе модуляции OFDMA поднесущие используются для доступа абонентов к ресурсам сети. В методе SC-FDMA, по сравнению с OFDMA, символы данных разных пользователей передаются последовательно в более широкой полосе частот, с большей скоростью. Схема RSMA может использовать специализированное кодирование для повышения спектральной эффективности, при этом системы с одночастотным RSMA обладают меньшим пик-фактором.

На основе проведенного анализа проведено сопоставление преимуществ и недостатков рассмотренных методов. Показано, что SC-FDMA и OFDMA нуждаются в синхронном мультиплексировании и имеют худший бюджет потерь в линии при большом числе пользователей. OFDMA не имеет внутрисотовых помех, обладает более высокой спектральной эффективностью и позволяет использовать технологии многоантенных систем MIMO. RSMA также имеет ряд преимуществ, прежде всего, это возможность к асинхронному мультиплексированию, возможность увеличения бюджета линий, но при этом имеет относительно низкую спектральную эффективность.

Литература

1. **Бакулин М. Г., Крейнделин В. Б., Шлома А. М., Шумов А. П.** Технология OFDM. Учебное пособие для вузов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2015. — 360 с. — ISBN 978-5-9912-0549-8.
2. **Guowang Miao;** Guocong Song (2014). Energy and spectrum efficient wireless network design. Cambridge University Press. ISBN 1-107-03988-6.

Секция 2.
ФОРМИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ И СИГНАЛОВ

Председатель секции — Удалов Николай Николаевич
Секретарь секции — Чеченя Сергей Александрович

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

ЦИФРОВОЙ СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТЫ НА ОСНОВЕ КОЛЬЦА ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ

В настоящее время радиоэлектроника быстро развивается. Применение цифровых синтезаторов объясняется их необходимостью в системах передачи информации, так как за счет малых габаритов и потребления энергии, они значительно упрощают схемотехническую реализацию и повышают быстродействие устройств, в которых они применяются. Важность разработки объясняется тем, что подобные устройства уже производятся за рубежом и разработаны реальные микросхемы.

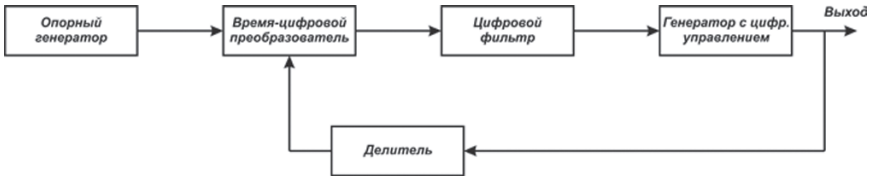


Рис. 1. Структурная схема цифрового синтезатора частот на основе системы ФАПЧ

На основе разработанного цифрового частотно-фазового детектора (ЧФД) [1] создана модель цифрового синтезатора частот в соответствии со схемой, представленной на рис. 1. В состав такого синтезатора входят следующие звенья: генератор, формирующий опорный сигнал; время-цифровой преобразователь, в состав которого входит ЧФД, формирующий сигнал ошибки; цифровой фильтр; цифроаналоговый преобразователь с генератором управляемым по частоте напряжением и делитель с переменным коэффициентом деления [2].

По результатам моделирования переходных процессов в модели цифрового синтезатора проведено их сравнение с переходными процессами аналогичного аналогового синтезатора частот, рассчитанного с помощью программного пакета ADIsimPLL.

Литература

1. **Опанасенко А.А,** Полностью цифровой частотно-фазовый детектор / Опанасенко А.А., Удалов Н.Н. // Радиотехника, электротехника и энергетика: Двадцать пятая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (14–15 марта 2019 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО “Центр полиграфических услуг “Радуга”, 2019 — 1060 с; С. 20.
2. **Perrott Michael H.** Digital Frequency Synthesizers // Short Course On Phase-Locked-Loops, IEEE Circuit and System Society, San Diego, CA, 2009. P. 7-14.

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

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТЫ НА ОСНОВЕ КОЛЬЦА ФАПЧ С ЧФД

В настоящее время наибольшее распространение при реализации радиоэлектронной аппаратуры используют синтезаторы частоты на основе системы ФАПЧ [1]. В реальных системах существует паразитная инерционность в цепи управления, влияние которой необходимо исследуемой.

В данной работе анализируется модель синтезатора частоты на основе кольца ФАПЧ с дополнительной RC-цепью, имитирующая инерционность цепи управления частотой. Линеаризованное дифференциальное уравнение такого синтезатора имеет 4-го порядок:

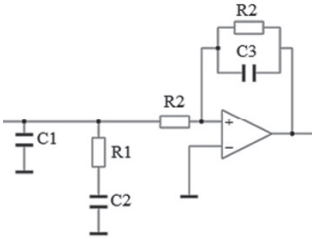


Рис. 1. Исследуемая модель фильтра с дополнительной RC-цепью

$$\overline{p}^4\,\overline{T1T3}\varphi + \overline{p}^3\varphi(g\overline{T3} + \overline{T1}) + \overline{p}^2 g\varphi + \overline{p}\,\overline{T1}\varphi + \varphi = 0,$$

где $\overline{p} = d/dt^*\Omega c$ — оператор дифференцирования по времени; $\Omega_c = \sqrt{(SI/NC1)}$ — полоса синхронизма; S[(рад/с)/В] — крутизна управления частотой ПГ; I — ток заряда, обеспечиваемый ключевыми схемами фазового детектора; N — коэффициент делителя с переменным коэффициентом; $\overline{T1} = \Omega_c R1C2$; T2 = C1R1C2/(C1+ C2); $\overline{T3} = \Omega_c R2C3$; g = (C1+C2)/C2; C1-3, R1-2 — элементы фильтра кольца.

По критерию Гурвица для простейшего фильтра (C3=0) при всех положительных коэффициентах уравнения условие устойчивости имеет вид: $g>1; \overline{T1} > 0$. Для фильтра с цепью R2C3 условия устойчивости дополняются следующими неравенствами: : $\Delta 2 = g\,(g(\overline{T3}) + (\overline{T1})) - (\overline{T1})^2\,(\overline{T3}) > 0$; $\Delta 3 = (\overline{T1})[g(g\overline{T3} + \overline{T1}) - \overline{T1}^2\,\overline{T3}\,] - (g\overline{T3} + \overline{T1})^2 > 0$; $\overline{T3} > 0$.

На основе их анализа можно сделать вывод о том, что паразитная инерционность цепи управления частотой ($\overline{T3} \neq 0$) приводит к увеличению времени переходного процесса. Следовательно, при проектировании структуры необходимо скорректировать параметры фильтра для обеспечения требуемого времени переходного процесса. Результаты анализа подтверждены в программе среде ADISimPLL [2].

Литература

1. **Макаров А.К., Удалов Н.Н.** Стабилизация частоты и формирование сигналов радио- и оптического диапазонов. «Динамика синтезатора с частотно-фазовым детектором», Минск, 1992 г., стр. 84–90.
2. **Казаков, Л.Н.** Расчет однокольцевого ИФАПЧ синтезатора частот с применением программы ADISimPLL 3.0: метод. указания / Л.Н. Казаков; Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова. — Ярославль: ЯрГУ, 2009. — 52 с.

К.И. Сурин, студ.; рук. Г.И. Коптев, к.т.н., доц., (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ LC-ГЕНЕРАТОРА КВАДРАТУРНЫХ КОЛЕБАНИЙ С ФАЗОСДВИГАЮЩИМИ RC-ЦЕПЯМИ

Автогенераторы квадратурных колебаний (АГКК) широко используются в качестве опорных источников колебаний в квадратурных модуляторах, выполняющих операции переноса спектров радиотехнических сигналов из одной области частот в другую [1, 2]. Имеется обширная литература по таким генераторам, используемым на частотах СВЧ диапазона [1]. Однако в литературе отсутствует полное теоретическое решение задач расчета и анализа АГКК. Эти задачи решаются, как правило, методом компьютерного моделирования и натурного эксперимента.

В нашей работе решена задача расчета в линейном режиме класса схем АГКК, в которых квадратурность колебаний достигается за счет использования дифференциальных пар транзисторов и фазосдвигающих RC-цепей. Такой расчет позволяет найти в начальном приближении номиналы элементов схемы. Метод решения на основе векторной диаграммы дал формулы для токов, напряжений и элементов схемы. Векторы напряжений и токов транзистора рассчитываются в режиме усиления малого сигнала для выбранной частоты и режима транзисторов.

Получен также метод быстрого компьютерного моделирования стационарного линейного режима такого АГКК, основанный на определении начальных условий в колебательной системе четырехфазного генератора [3].

Выполнено моделирование АГКК в нелинейном режиме. Обнаружено, что частота генерации в нелинейном режиме мало отличается от частоты в линейном режиме, а амплитуда колебаний управляется вариацией номиналов некоторых элементов схемы и питающих напряжений. Моделирование подтвердило векторный расчет элементов схемы АГКК.

Результаты расчета и компьютерного моделирования подтверждены экспериментально.

Литература

1. **Kochemasov D.V.**, **Kuleshov V.N.**, **Koptev G.I.**, «The Quadrature VCOs In Communication Systems,» 2019 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), Russia, 2019, pp. 1–4.
2. **Кулешов В.Н.**, **Кочемасов Д.В**. Флуктуации в кольцевых автогенераторах квадратурных колебаний с одноконтурными цепями межкаскадной связи. // Электросвязь. — 2014. №5, — С. 34–38.
3. **Коптев Г.И.** Симметричная схема генератора кольцевой и спиральной развертки. // Вопросы радиоэлектроники. — 1961. — Серия XII. — №13.

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

КАНАЛ СВЯЗИ С ГИПЕРФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

В докладе рассматривается беспроводная система связи с применением сигнала с гиперфазовой модуляцией [1], позволяющего добиться больших значений энергетической и спектральной эффективности системы связи без применения помехоустойчивого кодирования. Гиперфазовая модуляция (ГПФМ) представляет собой трехмерный ансамбль сигналов, сигнальное созвездие которой представляет собой сферу. Сигналы ансамбля расположены на поверхности сферы таким образом, чтобы евклидовое расстояние между двумя ближайшими сигналами было максимальным, за счет чего достигается высокая помехоустойчивость канала связи без применения помехоустойчивого кодирования.

В докладе проведен анализ структурных и технических аспектов построения канала связи с гиперфазовой модуляцией и результаты имитационного моделирования. Имитационная модель, созданная в программном пакете MATLAB Simulink [2], состоит из передающего устройства с гиперфазовым модулятором, канала с аддитивным белым гауссовским шумом, радиоприемного устройства с демодулятором гиперфазового сигнала. Разработанная модель позволяет проводить исследования основных характеристик беспроводных систем связи, таких как спектральная и энергетическая эффективность, помехоустойчивость, а также спектрального состава сигнала. На основании результатов имитационного моделирования проведен сравнительный анализ характеристик систем связи с гиперфазовой модуляцией и систем с применением конвенционных сигналов с фазовой модуляцией. Основным критерием сравнения выступает вероятность ошибочного распознавания бита информации при фиксированном уровне мощности сигнала и различных уровнях мощности аддитивного белового гауссовского шума.

Показано, что практическое применение ГПФМ-сигналов требует доработки синтезатора частот, формирующего несущие частоты в радиопередающем устройстве, а также решения вопросов восстановления несущих и организации системы тактовой синхронизации в радиоприемном устройстве.

Литература

1. **Быховский М.А.** Гиперфазовая модуляция — оптимальный метод передачи сообщений в гауссовских каналах связи. — М.: Техносфера, 2018. — 310 с.
2. **Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б.** MATLAB наиболее полное руководство в подлиннике. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005. — 1104 с.

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

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ НА ЛАМПЕ С БЕГУЩЕЙ ВОЛНОЙ

Усилители мощности модулированных сигналов диапазона сверхвысоких частот на лампах с бегущей волной (УЛБВ) [1] широко используются в бортовой аппаратуре спутниковых ретрансляторов. Важным показателем качества для них является допустимый уровень интермодуляционных искажений передаваемого сигнала [2]. Настройку предыскажающих линеаризаторов на входе УЛБВ затруднительно корректировать при изменении характеристик бортовой аппаратуры в интервале внешних воздействий. В докладе рассмотрена схема линеаризации таких устройств при помощи обратной связи для стабилизации фазового сдвига в лампе изменением ускоряющего напряжения на замедляющей системе [3].

В вычислительной среде SystemVue отлажена имитационная модель УЛБВ с нелинейными преобразованиями комплексной амплитуды АМ/АМ и АМ/ФМ и линеаризирующей обратной связью напряжением с выхода измерителя фазового сдвига, корректирующим значение напряжения на спирали лампы. Для измерения уровня интермодуляционных искажений использован двухчастотный тестовый сигнал.

Приведены результаты испытаний модели при вариации характеристик амплитудных преобразований в УЛБВ для двухчастотного тестового и для типового сигнала с псевдослучайной фазовой манипуляцией. Результаты испытаний показали преимущества линеаризации изменением параметров активного прибора по сравнению с использованием предыскажающих устройств на входе лампы.

Сформулированы рекомендации по способам измерения фазового сдвига в УЛБВ и вариантам технической реализации системы его стабилизации при высоких требованиях к малому уровню интермодуляционных искажений.

Литература

1. **Гилмор А.С.** Лампы с бегущей волной /— М. Техносфера, 2015. — 618 с.
2. **Белов Л.А.** Минимизация интермодуляционных искажений при усилении мощности и обработке радиосигналов в навигации и связи / Вестник МЭИ. — 2018. №2. С. 114–122.
3. **Солнцев В.А.** Анализ подавления нелинейных искажений в усилителях сигналом огибающей / В.А. Солнцев, А.И. Шульга / Радиотехника и электроника. 2012, том 57, №2. С. 219–229.

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

ПАССИВНЫЕ ИНТЕРМОДУЛЯЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ПРИЁМО-ПЕРЕДАЮЩИХ ЦЕПЯХ

Интермодуляционные искажения возникают [1] в активных и пассивных электрических цепях из-за нелинейного преобразования суммы колебаний нескольких частот или одного сигнала со сплошным частотным спектром. В устройствах СВЧ с общей приёмо-передающей антенной, в антенно-фидерных трактах и в ближней зоне антенных устройств по цепям, которые традиционно считаются пассивными, проходят одновременно токи передаваемых и принимаемых сигналов на близко расположенных частотах при соотношении уровней мощности до сотен децибел и более. В этих условиях идеализированное предположение о линейности таких цепей не выполняется и для выполнения требований электромагнитной совместимости (ЭМС) необходимо принимать дорогостоящие меры по подавлению составляющих пассивной интермодуляции (ПИМ).

Мешающие продукты ПИМ возникают в подложках печатных плат, в микрополосковых линиях передачи, в радиочастотных кабелях и соединителях, в антенных конструкциях, в окружающих антенну предметах, во входных частотно-разделительных цепях, в малошумящих входных каскадах приёмных устройств, в ферритовых узлах, в контактных соединениях, деградировавших из-за влияния окружающей среды или циклических тепловых и коммутационных процессов. Увеличение мощности излучаемых сигналов, повышение чувствительности приёмных устройств, частотное уплотнение каналов связи, пространственное уплотнение размещения аппаратуры на станциях сотовой и спутниковой связи предъявляют высокие требования к уровню ПИМ в соответствии с жёсткими показателями ЭМС. В докладе рассмотрены причины появления ПИМ, методы ее калибровки, измерения и способы снижения [2].

Сформулированы направления дальнейшей разработки методов поиска и локализации источников ПИМ, конструирования и изготовления компонентов с пониженным уровнем ПИМ-проявлений, цифровых средств расчёта уровня и подавления нежелательных спектральных составляющих.

Литература

1. **Белов Л.А.** Минимизация интермодуляционных искажений при усилении мощности и обработке радиосигналов в навигации и связи // Вестник МЭИ, 2018, №2. С. 114–122.
2. **Tian L.** Adaptive suppression of passive intermodulation in digital satellite transceivers // Lu Tian, Hangcheng Han, Wenhui Cao, Xiangyuan Bu, Shuai Wang [Адаптивное подавление пассивной интермодуляции в цифровых спутниковых приёмо-передающих устройствах / Chinese Journal of Aeronautics. Vol. 30, Issue 3, June 2017. P. 1154 – 1160.

А. Д. Щербинин, асп.; рук. К. В. Ромащенко, к.т.н., нач. сектора
(АО «Российские космические системы»)

РАДИОФОТОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТ ДЛЯ БОРТОВОГО СПУТНИКОВОГО РЕТРАНСЛЯТОРА

В течение последних двух десятилетий радиофотонные технологии [1] вызывают большой интерес, поскольку они допускают сверхвысокое значение ширины полосы радиочастот, низкие потери при передаче и устойчивость к электромагнитным помехам.

Для решения проблемы гибкого и широкополосного преобразования частот внутри спутникового ретранслятора [2, 3] в данной работе рассмотрена схема радиофотонного преобразователя частоты, позволяющая переносить несущую частоту входного сигнала на несколько различных выходных частот.

Базовый принцип разработанной схемы заключается в переносе радиочастотных опорных сигналов, поступающих с гетеродина, в оптический диапазон, их мультиплексировании и дальнейшей модуляции полосовым сигналом, поступающим на вход электрооптического модулятора.

На рис. 1 показаны частотные характеристики спектральной плотности мощности входного полосового сигнала и выходных сигналов, полученных при переносе частоты.

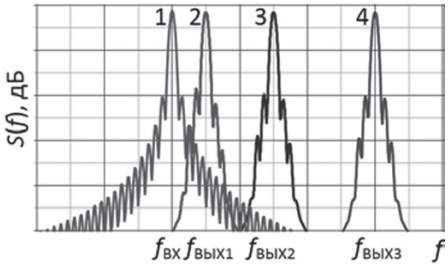


Рис. 1. Спектральные плотности входного (1) и выходных сигналов (2–4),
fвх — центральная частота входного сигнала;
fвых1, fвых2, fвых3 — центральные частоты выходных сигналов

В рамках данной работы разработана имитационная модель. В докладе показаны спектральные характеристики выходных сигналов, а также искажения, вносимые элементами схемы в преобразуемые сигналы.

Литература

1. **Урик, В. Д. и др.** Основы микроволновой фотоники. — М.: Техносфера. 2016.
2. **Aveline, M.** Reconfigurable microwave photonic repeater for broadband telecom missions: concepts and technologies — International Conference on Space Optics (La Caleta, Tenerife, Canary Islands, Spain, october 2014), Vol. 10563.
3. **Xu, Xingyuan and et al.** Microcomb-based photonic RF signal processing — IEEE Photonics Technology Letters, 2019, DOI: 10.1109/LPT. 2019.2940497

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНЗИСТОРНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ ДЛЯ СПУТНИКОВОГО РЕТРАНСЛЯТОРА

Твердотельные усилители мощности (ТУМ) полосовых сигналов СВЧ-диапазона на основе нитрида галлия [1] имеют преимущество по сравнению с традиционными вариантами полупроводниковой технологии по выходной мощности и повышенной линейности, что определяет перспективность для их применения в бортовых спутниковых ретрансляторах. Проектирование таких усилителей мощности при повышенной выходной мощности для диапазона частот свыше 10 ГГц осложнено необходимостью расчёта тепловых процессов, согласования колебательной системы в заданной полосе частот с учетом требований повышенной спектральной и энергетической эффективности при допустимом уровне интермодуляционных искажений с помощью лицензионных систем автоматизированного проектирования.

В докладе представлен обзор вариантов технологии разработки таких устройств и результатов, полученных отечественными специалистами. При помощи программного пакета Applied Wave Research Design Environment (AWRDE) [2] составлена имитационная модель ТУМ на доступном транзисторе указанного типа с цепью согласования для возможного применения в составе бортового спутникового ретранслятора. В состав модели входят несколько вариантов входного сигнала и измерительные средства, позволяющие измерить амплитудные, частотные и интермодуляционных характеристики такого узла.

Результаты испытаний имитационной модели показали возможность достижения высокой энергетической эффективности при высокой выходной мощности в полосе частот от 11.7 до 12.2 ГГц с низким относительным уровнем интермодуляционных искажений в соседней полосе частот.

Сформулированы направления дальнейшей разработки таких узлов.

Литература

1. **Сечи Ф.** Мощные твёрдотельные СВЧ-усилители // Ф. Сечи, М. Буджатти / пер. с англ./ — М. Техносфера, 2016. — 416 с.
2. **Малышев В.М.** Устройства формирования и генерирования сигналов. Автоматизированное проектирование СВЧ-устройств: учеб. пособие / В.М. Малышев, А.Б. Никитин. — М.: Изд-во Юрайт, 2019. — 82 с.
3. **Браннинг Дж.** Проектирование широкополосного высокоэффективного высокочастотного усилителя мощности на основе нитрида галлия / J. Brunning, R. Rayit / пер. с англ. / СВЧ-электроника, 2018, №3. С. 30–35.

А.В. Воронов, асп.; рук. А.Р. Сафин, к.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

МНОГОМОДОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ В КОНСЕРВАТИВНО СВЯЗАННЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ОСЦИЛЛЯТОРАХ

Многие динамические системы представимы в виде сети связанных осцилляторов с определённой топологией. Если система содержит нелинейные связи, то существует возможность их линеаризовать с некоторыми ограничениями. Важным при рассмотрении таких сетей является вопрос о том, каким образом топология сети влияет на спектр мод. В рамках изучения этого вопроса необходимо понять механизм появления различных мод колебаний для простейшего случая — пары осцилляторов (рисунок 1).

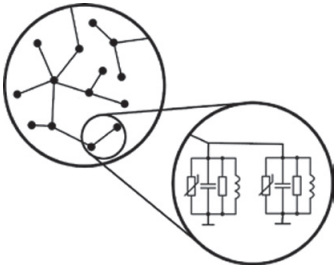


Рисунок 1. Сеть нелинейных осцилляторов

В качестве элементов пары возможно выбрать нелинейные осцилляторы с богатой динамикой, например, осцилляторы Ван дер Поля. Система, состоящая из двух осцилляторов Ван дер Поля, описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \ddot{x} - (\lambda - x^2)\dot{x} + x + \mu(\dot{x} - \dot{y}) = 0; \\ \ddot{y} - (\lambda - y^2)\dot{y} + (1 + \Delta)y + \mu(\dot{y} - \dot{x}) = 0, \end{cases}$$

где x, y — фазовые координаты, λ — параметр возбуждения, μ — коэффициент взаимной связи, Δ — частотная расстройка.

При изменении параметра возбуждения, коэффициента взаимной связи и частотной расстройки уравнения (1), в системе возможно наблюдать предельные циклы [1]. Исследовав спектр возникающих колебаний при наличии предельного цикла, можно судить о многомодовости. Стоит отметить, что предельный цикл возможен только при определённых значениях параметров системы. В других случаях система может вести себя хаотически или же стремиться к равновесному состоянию.

Литература

1. **Semenov A.** The Van der Pol's Mathematical Model of the Voltage-Controlled Oscillator Based on a Transistor Structure with Negative Resistance / A. Semenov // 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), Lviv, 2016, 23-26 February, pp. 100–104. / DOI: 10.1109/TCSET.2016.7451982

Д. А. Габриелян, студ.; рук-ли: А.Р. Сафин, к.т.н., зав. каф.;
Р.С. Куликов, к.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

ВОЗБУЖДЕНИЕ И ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ТЕРАГЕРЦОВЫХ ВОЛН С ПОМОЩЬЮ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКОВ

В работе рассмотрена схема резонансного, перестраиваемого приемника и генератора терагерцовых колебаний на основе антиферромагнитной тонкой пленки. Устройство состоит из двухслойной структуры, состоящей из одноосного антиферромагнетика (АФМ) и слоя тяжелого металла (ТМ) платина, а детектирование высокочастотных колебаний происходит за счет обратного спинового эффекта Холла в платине [1]. Добавляемый к переменному постоянный ток изменяет частоту резонансных колебаний, осуществляя перестройку в широком диапазоне частот. Физическая структура приемника/генератора терагерцовых колебаний на основе структуры АФМ-ТМ представлена на рис. 1. Здесь входной переменный терагерцовый электрический ток протекает между контактами *A–A'*. За счет сильного спин-орбитального взаимодействия колебания, вызванные внешним терагерцовым сигналом, приводят к возникновению спинового тока, который за счет эффекта холла конвертируется в электрический ток, у которого есть dc компонента. Возникающий спиновый ток действует на намагниченности подрешеток M_1, M_2 АФМ, приводя к колебаниям вектора антиферромагнетизма $l = (M_1 - M_2)/M_s$, где M_s — намагниченность насыщения АФМ.

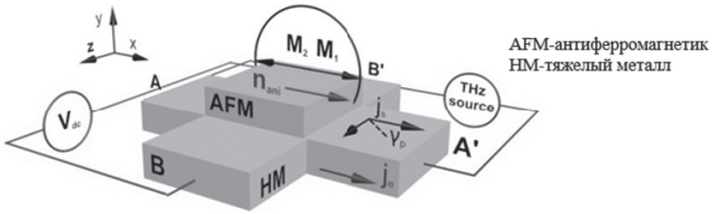


Рис. 1. Структурная схема приемника/генератора терагерцовых колебаний

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания РФ № 0069-2019-0009.

Литература

1. **Stremoukhov P.** Spintronic terahertz-frequency nonlinear emitter based on the canted antiferromagnet-platinum bilayers / P. Stremoukhov, A. Safin, M. Logunov, S. Nikitov, A. Kirilyuk / Journal of Applied Physics. 2019. Vol. 125.

Д.А. Волков, студ.; рук-ли.: А.Р. Сафин, к.т.н., зав. каф.;
Р.С. Куликов, к.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВУХ СВЧ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ МАГНИТНОГО ТУННЕЛЬНОГО ПЕРЕХОДА

Перспективным направлением развития современной наноэлектроники является спинтроника, в которой информация переносится не зарядом электрона, а собственным магнитным моментом — спином. Было показано [1], что осцилляторы, построенные на основе спинтроники (спин-трансферные наноосцилляторы — СТНО) могут использоваться для спектрального анализа сигналов. Большинство СТНО построены на основе магнитных туннельных переходов (МТП). В данной работе был произведён анализ спектра двух сигналов при помощи СТНО, на вход которого поступают анализируемые сигналы разных частот и управляющий ток. Под действием тока, СТНО начинает генерировать СВЧ колебания. При совпадении частоты колебаний СТНО и частоты анализируемого сигнала, на выходе возникает сигнал, который подвергается цифровой обработке (ЦОС). Главным преимуществом такого анализа спектра является очень высокая чувствительность. Так же были проведены эксперименты по спектральному анализу и различению двух сигналов, были получены отклики постоянного напряжения, получаемого на выходе СТНО. Данная работа будет являться основой для проектирования высокочувствительного СВЧ спектроанализатора с использованием МТП — структур.

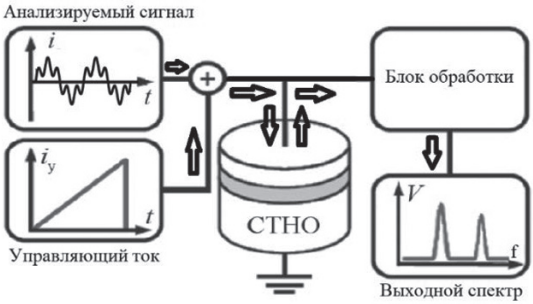


Рис. 1. Структурная схема спектроанализатора на основе СТНО

Литература

1. **Сафин А.Р.** Спектральный анализ сигналов с использованием спин-трансферного наноосциллятора в режиме синхронизации (в порядке дискуссии) /А. Р. Сафин, А.А. Митрофанов, Н.Н. Удалов и др. / Вестник МЭИ. — 2018. — № 5. С. 166–171. ISSN 1993-6982.

А.В. Андреев, студ.; рук. А.Р. Сафин, к.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

ВЗАИМНАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ ДВУХ СПИНТРОННЫХ НАНООСЦИЛЛЯТОРОВ С ОБЩИМ СЛОЕМ ТЯЖЕЛОГО МЕТАЛЛА

Возбуждение колебаний в наноразмерных магнитных структурах за счет эффекта переноса крутильного момента вызывает в последние годы большой интерес в связи с перспективами создания миниатюрных и широко перестраиваемых микроволновых генераторов. Основным недостатком таких спин-тронных наноосцилляторов (или спин-трансферных наноосцилляторов — СТНО) является низкая выходная мощность генерируемых колебаний. Одним из способов увеличения мощности устройств на основе СТНО является сложение мощностей от многих синхронизированных осцилляторов [1]. Предложены различные конструкции как самих СТНО, так и механизмов связи. В данной работе была исследована схема взаимной синхронизации двух спинтронных наноосцилляторов (FM_1, FM_2) с общим слоем металла с сильным спин-орбитальным взаимодействием (рис. 1.). Показано, что, меняя электрический ток (J_0), пропускаемый через слой тяжелого металла, в нашем случае платины (Pt), благодаря возникновению спинового эффекта Холла (SHE) и обратного спинового эффекта Холла (ISHE), можно добиться взаимной фазовой синхронизации колебаний намагниченности в ферромагнетиках.

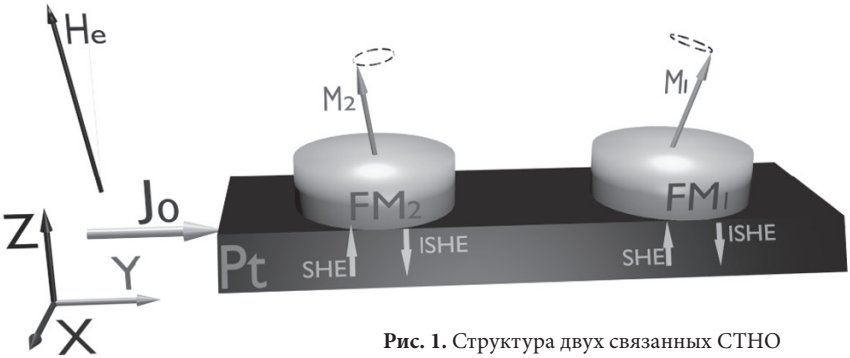


Рис. 1. Структура двух связанных СТНО с общим слоем тяжелого металла

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента для молодых кандидатов наук № МК-283.2019.8.

Литература

1. **Awad A.** Long-range mutual synchronization of spin Hall nano-oscillators./ A.A. Awad, P. Dürrenfeld, A. Houshang [et al.] // Nature Phys — 2017. T. 13. — C. 292–299.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ АНТИФЕРРОМАГНИТНЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

Перспективным направлением современной спинтроники является генерация и детектирование терагерцовых волн с помощью антиферромагнетиков. Резонансная частота антиферромагнетиков (АФМ) лежит в терагерцовой области, в частности, резонансная частота IrMn составляет 450 ГГц. В данной работе исследована нелинейная динамика единичного осциллятора на основе АФМ.

Система уравнений, характеризующая динамику компонент вектора Нееля в АФМ1 = (cosφsinθ, sinφsinθ, cosθ), имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \left[\frac{\dot\theta\dot\varphi}{\omega_{ex}} - \frac{\tau}{2}\cos\gamma_p\cos\varphi\right]\sin 2\theta + \sin^2\theta\left[\frac{\ddot\varphi}{\omega_{ex}} + \alpha\dot\varphi + \frac{\omega_{ani}}{2}\sin 2\varphi + \tau\sin\gamma_p\right] = 0 \\ \frac{\ddot\theta}{\omega_{ex}} + \alpha\dot\theta - \tau\cos\gamma_p\sin\varphi - \frac{\sin 2\theta}{2}\left[\frac{\dot\varphi^2}{\omega_{ex}} + \omega_{ani}\cos^2\varphi\right] = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $\omega_{вх}$ — обменная частота, ω_{ani} — частота анизотропии, α — константа затухания Гильберта, τ — константа переноса спина, γ_p — угол поляризации спинового тока в платине.

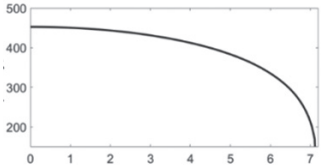


Рис. 1. Зависимость частоты колебаний АФМ осциллятора от плотности тока

На рис. 1 представленазависимость частоты колебаний вектора ***l***, как функция плотности тока, пропускаемого через образец, построенная путем численного интегрирования системы (1).

Здесь частота dφ/dt, а ток-DC входит в τ ($\tau = \sigma * J_{DC}$) . Таким образом, показано, что можно перестраивать частоту колебаний АФМ осциллятора током.

Литература

1. **Khymyn, R.** Antiferromagnetic THz-frequency Josephson-like Oscillator Driven by Spin Current / Roman Khymyn, Ivan Lisenkov, VasylTiberkevich, Boris A. Ivanov, Andrei Slavin// Scientific reports. 2017. Vol. 7. No. 43705.

А.А. Арсланов, студ.; рук. А.Р. Сафин, к.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИТНОГО ЗАХВАТА СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ СХЕМЫ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ СПИНТРОННОГО ОСЦИЛЛЯТОРА

Поисковые системы слежения за различными параметрами сигналов широко используются для решения различных задач современной радиотехники [1, 2]. В основе этих поисковых систем лежит система фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Ранее [3], спинтронный осциллятор (СО) использовался для спектрального анализа сигналов и было показано, что диапазон перестройки по частоте такого генератора ограничен нелинейностью модуляционной характеристики СО. При этом схема была реализована по принципу прямой фазовой синхронизации СО внешним, анализируемым сигналом. Вместе с тем, для изменения диапазона перестройки по частоте и обеспечения дополнительных возможностей по управлению полосой синхронизма можно использовать кольцо авторегулирования — схему ФАПЧ.

В данной работе численно рассчитано время транзитного захвата в системе ФАПЧ спинтронного осциллятора, структурная схема которого представлена на рис. 1, где ИС — источник сигнала, ФД — фазовый детектор, ЦУ — цепь управления, СО — спинтронный осциллятор, ИТ — источник тока, А — анализатор фазовой расстройки. Показано, что использование схемы ФАПЧ позволяет уменьшить время транзитного захвата анализируемого сигнала при использовании спинтронного осциллятора в качестве активного прибора при спектральном анализе, по сравнению с системой, где СО не используется.

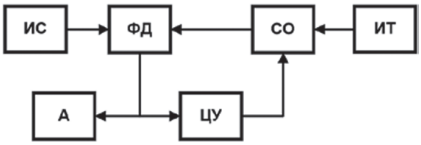


Рис. 1. Структурная схема ФАПЧ спинтронного осциллятора

Литература

1. **Шахгильдян, В. В.** Системы фазовой автоподстройки частоты / В.В. Шахгильдян, А.А. Ляховкин. — М.: Связь, 1972. — 446 с.
2. **Шахгильдян, В. В.** Системы фазовой синхронизации / В.В. Шахгильдян [и др.]. — М.: Радио и связь, 1982. — 288 с.
3. **Сафин А. Р.** Спектральный анализ сигналов с использованием спин-трансферного наноосциллятора в режиме синхронизации / А.Р. Сафин [и др.] // Вестник МЭИ. — 2018. — № 5. — С. 166–171.

Ю.Р. Буткевич, студ.; рук. В.В. Афанасьев, д.т.н., проф.
(КНИТУ-КАИ имени А.Н. Туполева, Казань)

ГЕНЕРАТОРЫ МАСКИРУЮЩИХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМОГО ГЕНЕРАТОРА ВАН-ДЕР-ПОЛЯ

Один из перспективных способов конфиденциальной передачи сообщений с шифрованием является применение новых носителей информации на основе динамического хаоса [1]. В данной работе рассмотрены особенности применения управляемого генератора псевдослучайных сигналов Ван-дер-Поля с хаотической динамикой в системе связи с хаотической маскировкой.

Целью работы является моделирование управляемого генератора Ван-дер-Поля и основных узлов системы связи с маскирующими псевдослучайными сигналами, с обоснованием инженерных рекомендаций по выбору параметров генератора.

Получены аналитические оценки условий стохатизации генератора псевдослучайных сигналов Ван-дер-Поля по методу расщепления сепаратрис Мельникова, основанном на аналитическом вычислении по теории возмущений расстояния между сепаратрисами данного генератора.

С помощью математической программы Machcad проведено моделирование генератора Ван-дер-Поля с хаотической динамикой и основных блоков системы связи с хаотической маскировкой. Разработанные средства моделирования позволяют исследовать статистические характеристики псевдослучайных сигналов при изменении параметров управляемой системы Ван-дер-Поля.

Проведено исследование эффективности корреляционной обработки сигналов динамической системы Ван-дер-Поля в условиях действия низкочастотных и высокочастотных шумов и помех. Выполнено сопоставление результатов моделирования управляемой системы Ван-дер-Поля с аналитической оценкой условий стохастизации генератора.

Обоснованы инженерные рекомендации по построению формирователей маскирующих псевдослучайных сигналов на основе управляемого генератора Ван-дер-Поля. Показано, что разработанные средства моделирования могут быть использованы для оптимизации систем связи на основе хаотической маскировки псевдослучайными сигналами управляемого генератора Ван-дер-Поля.

Литература

1. **Дмитриев, А.С., Панас, А.И**. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. /А. С. Дмитриев, А. И. Панас. — М.: Издательство Физико-математической литературы, 2002. — 252 с.

А.В. Куликов, асп.; рук. М.Н. Пиганов, д.т.н., проф. (Самарский национальный исследовательский университет им. С.П. Королёва, г. Самара)

МЕТОД КАЛИБРОВКИ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ ПЕРЕДАЮЩЕГО МОДУЛЯ

При конструировании передающего модуля (ПМ) ключевое значение имеют его параметры, а также допустимый диапазон каждого из этих параметров. В указанном допустимом диапазоне должны находиться и значения выходной мощности СВЧ-канала, причем ограничения касаются не только нижней границы (минимального значения) $P_{вых}$, но и верхней границы (максимального значения) $P_{вых}$. При проведении испытаний модули, имеющие отклонения от заданных значений, могут быть признаны непригодными и подлежащими дополнительной регулировке путем дополнительных подстроек [1].

Целью предлагаемого метода является снижение разброса выходной мощности, получение стабильного значения выходной мощности СВЧ-канала ПМ при воздействии дестабилизирующих факторов.

Калибровка проводится в диапазоне рабочих частот ПМ, в диапазоне заданных значений входной мощности. Обработка экспериментальной калибровочной таблицы состоит в применении линейной аппроксимации по методу наименьших квадратов для каждой точки по частоте. Результатом обработки (сглаживания) является таблица коэффициентов полиномов для каждой точки по частоте:

$$P_i = A_i + B_i \cdot N + C_i \cdot N^2, \quad (1)$$

где N — код аналого-цифрового преобразователя (АЦП); P_i — выходная мощность, дБмВт; A_i, B_i и C_i — коэффициенты полинома для i-той частоты.

Во флеш-память ПМ записывается таблица, содержащая значения абсолютной мощности выходного СВЧ сигнала в зависимости от частоты и кода АЦП в канале с детектором мощности.

Для практической реализации задачи калибровки автором разработаны алгоритмы и программа автоматизированной калибровки ПМ.

Данный метод был применен, в частности, для калибровки выходной мощности передающих модулей малогабаритной сверхширокополосной активной фазированной антенной решетки, входящей в состав многофункционального радиотехнического комплекса.

Литература

1. **Тушнов П.А., Бердыев В.С.** Технология управления выходной мощностью приемопередающего модуля АФАР // Радиотехника. — 2015.— № 10. — С. 62–74.

Л. А. Цырульникова, студ.; рук. А.Р. Сафин, к.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

ВЗАИМНАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ ДВУХ СВЯЗАННЫХ ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

Создание искусственных нейроморфных сетей (НС) является одним из наиболее перспективных и интересных направлений современной науки. Интересным решением представляется построение НС на основе импульсных систем фазовой синхронизации (ИСФС), т.к. фазовые системы обеспечивают требуемую стабильность и широкий диапазон синхронизации [1-3].

В работе исследуется взаимная синхронизация двух связанных ИСФС, область хаоса и область NT-циклов (N-целое число, T-период).

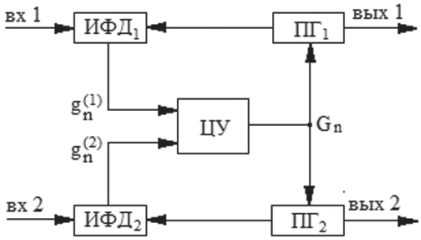


Рис. 1. Структурная схема для двух связанных ИСФС

На рис. 1 представлена структурная схемадля двух связанных ИСФС, где ИФД — импульсный фазовый дискриминатор, ПГ — подстраиваемый генератор, ЦУ — цепь управления. Здесь две ИСФС соединены через цепь управления с весовыми коэффициентами, т.е. сигналы $g_n^{(1)}$ и $g_n^{(2)}$ подаются на ЦУ, а выходной сигнал G_n управляет частотой $ПГ_1$ и $ПГ_2$. Показано, что каждая из двух соединенных ИСФС может генерировать последовательность импульсных сигналов, которые преобразуются в совместной цепи управления, демонстрируя эффекты взаимной синхронизации и хаоса.

Литература

1. **Сафин А.Р.** Спектральный анализ динамических процессов в системе фазовой синхронизации с выборками // Радиотехнические тетради. — 2011. — Вып. 44. — С. 63–66.
2. **Лутченкова Е.С**. Взаимная синхронизация связанных импульсных систем фазовой автоподстройки частоты / Е.С. Лутченкова, А.Р. Сафин, Р.С. Куликов // Ученые записки физического факультета Московского Университета. — 2019. — Вып. №5.

Ю.А. Гришина, студ.; рук. А.Р. Сафин, к.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

ДИНАМИКА СВЯЗАННЫХ ИМПУЛЬСНЫХ АНТИФЕРРОМАГНИТНЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

Теория сетей взаимосвязанных нелинейных осцилляторов в настоящее время интенсивно развивается в связи с возросшими вычислительными возможностями современных компьютеров. Построение искусственных аппаратно созданных нейроморфных сетей, позволит сконструировать модель мозга. Для этого необходимо реализовать искусственные нейроны и синапсы (элементы нейроморфного компьютера). Предлагаемыми кандидатами на роль искусственных нейронов являются спинтронные антиферромагнитные осцилляторы [1, 2], работающие в импульсном режиме.

В работе исследуется структура двух связанных искусственных спинтронных осцилляторов. На антиферромагнетик (AFM) подается переменное внешнее поле $\vec{H}_{ex}$. Спиновый ток, который возникает за счет изменения намагниченности ($\vec{M}_1$, $\vec{M}_2$) в AFM, передается в платину (Pt). Платина является материалом с высоким спин-орбитальным взаимодействием, в котором происходит конвертация спинового тока в электрический I_{DC} и наоборот (спиновый эффект Холла). Ток вызывает связь двух AFM, которую нужно оценить. Показано, что исследуемая схема может выступать в роли простейшего нейроморфного процессора, работающего в диапазоне СВЧ.

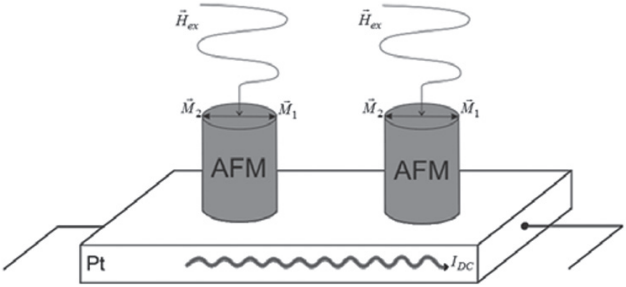


Рис. 1. структура двух связанных искусственных спинтронных осцилляторов

Литература

1. **Sulymenko, O.** Ultra-fast logic devices using artificial «neurons» based on antiferromagnetic pulse generators / O. Sulymenko, O. Prokopenko, I. Lisenkov [et al.] // Journal of Applied Physics. — 2018. — Vol. 124. — № 152115.
2. **Khymyn, R.** Ultra-fast artificial neuron: generation of picosecond-duration spikes in a current-driven antiferromagnetic auto-oscillator / R. Khymyn, I. Lisenkov, J. Voorheis [et al.] // Scientific reports. — 2018. — Vol. 8. — № 15727.

Секция 3.
УСТРОЙСТВА ОБРАБОТКИ РАДИОСИГНАЛОВ

Председатель секции — Гребенко Юрий Александрович
Секретарь секции — Савков Николай Николаевич

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

РЕАЛИЗАЦИЯ ОДНОРОДНОГО ФНЧ НА БАЗЕ ПАИС

Однородные аналоговые фильтры применяются достаточно широко [1]. В докладе рассматривается расчёт и реализация однородного фильтра нижних частот (ФНЧ) на базе программируемых аналоговых интегральных схем (ПАИС). Приводятся результаты расчёта и моделирования ФНЧ Баттерворта с НЧ-прототипом пятого порядка, реализованного на идентичных неидеальных суммирующих интеграторах. Методика расчёта состоит из двух этапов. Сначала разрабатывается последовательная структурная схема на аналоговых неидеальных интеграторах [1]. Затем она преобразуется в схему на переключаемых конденсаторах, реализуемую на ПАИС, выпускаемых компанией Anadigm [2]. Схема на базе ПАИС состоит из модулей суммирующих ФНЧ первого порядка с одинаковой полосой пропускания (1 кГц) и представлена на рис. 1. Частота переключения составляет 250 кГц.

Для проверки параметров АЧХ ФНЧ на базе ПАИС проведено моделирование в частотной области. Программа Anadigm Designer 2 позволяет снять АЧХ ФНЧ на базе ПАИС только на отдельных частотах. В результате были получены точки АЧХ ФНЧ на базе ПАИС, которые, как показано на рис. 2, практически совпали с АЧХ, полученной путем моделирования ФНЧ на идентичных неидеальных интеграторах в среде Micro-Cap.

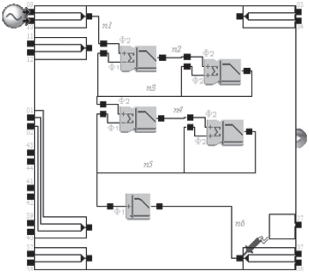


Рис. 1. Схема ФНЧ на базе ПАИС

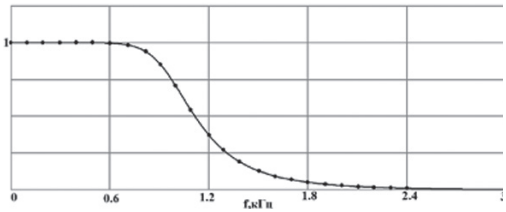


Рис.2. АЧХ ФНЧ на базе инвертирующих неидеальных интеграторов и отсчеты АЧХ ФНЧ на базе ПАИС

На одном кристалле ПАИС можно реализовать ФНЧ Баттерворта восьмого порядка.

Литература

1. **Гребенко Ю.А.** Однородные устройства обработки сигналов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009.
2. **Полищук А.** Программируемые аналоговые интегральные схемы Anadigm. Часть 1. Структура и характеристики // Компоненты и технологии, 2005, №2.

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

ФОРМИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА МНОГОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ С АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ НА БАЗЕ БАНКОВ КОМПЛЕКСНЫХ ФИЛЬТРОВ

В докладе предлагаются представленная на рис. 1 структурная схема и алгоритм функционирования многоканальной системы передачи данных фильтрового типа.

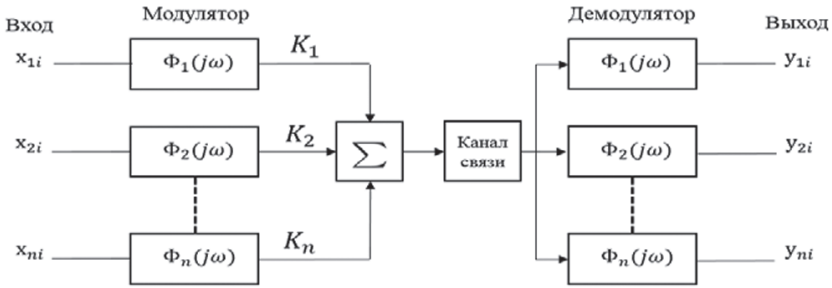


Рис. 1. Обобщённая структурная схема n-канальной системы передачи данных

Амплитудная модуляция канальных сигналов осуществляется путем изменения коэффициентов K_n.

В докладе рассматриваются результаты разработки и реализации алгоритмов модуляции и демодуляции на базе банков однородных БИХ комплексных полосовых фильтров. Использование таких фильтров с идентичными параметрами позволяет простым способом перестраивать их центральную частоту.

Излагаются результаты моделирования системы передачи данных в среде MicroCap.

Приводятся алгоритмы реализации модулятора и демодулятора на микроконтроллере и результаты макетирования на отладочной плате, которые сравниваются с результатами моделирования.

Литература

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

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

ФОРМИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА МНОГОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ С КВАДРАТУРНОЙ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ НА БАЗЕ БАНКОВ КОМПЛЕКСНЫХ ФИЛЬТРОВ

В докладе приводятся результаты разработки и реализации на микроконтроллере алгоритмов модуляции и демодуляции на базе банков однородных цифровых комплексных полосовых фильтров. Рассматривается вариант использования этих результатов в модуляторе и демодуляторе многоканальной системы передачи данных фильтрового типа. Использование однородных комплексных фильтров позволяет получить ортогональные сигналы. Предлагаются структурная схема, представленная на рис. 1, и алгоритм функционирования многоканальной системы передачи данных.

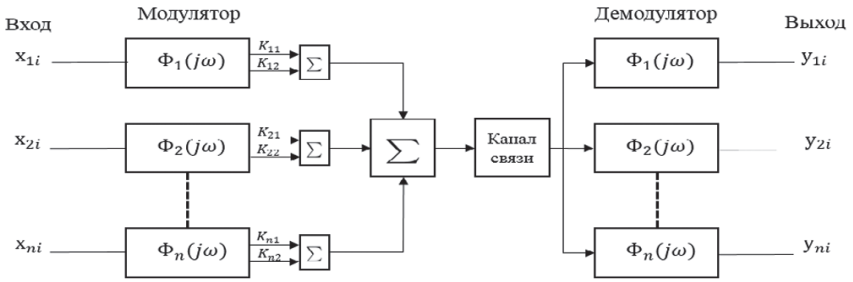


Рис. 1. Обобщённая структурная схема n-канальной системы передачи данных

Банк комплексных фильтров содержит цифровые фильтры с одинаковой структурной схемой. Выбор центральной частоты осуществляется заданием двух коэффициентов.

Излагаются результаты моделирования системы передачи данных в среде MicroCap.

Приводятся алгоритмы реализации модулятора и демодулятора на микроконтроллере и результаты макетирования на отладочной плате, которые сравниваются с результатами моделирования.

Литература

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

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

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ПРИЕМНИК НА ОСНОВЕ КОНФИГУРИРУЕМОГО ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКА AD9361

Стремительное развитие систем беспроводной связи и выделение дополнительных участков частотного спектра для работы лицензируемых и нелицензируемых устройств в последние годы порождают большой спрос на многодиапазонные приемопередатчики (радиотрансиверы). В тоже время общая тенденция к сокращению габаритов и энергопотребления требует применения конфигурируемых решений как для цифровой обработки сигнала, так и в аналоговых каскадах. [1]

Появление конфигурируемых компонентов, включающих в себя комбинацию АЦП, ЦАП и аналоговых схем, значительно упрощает процесс разработки устройств беспроводной связи. Одним из таких компонентов является микросхема AD9361 компании Analog Devices. [2]

В докладе рассматривается разработка двухканального приемника на основе конфигурируемого приемопередатчика AD9361, обеспечивающего синхронный прием по двум каналам, цифровую обработку принятого сигнала в базисе ПЛИС, пакетирование и дальнейшую передачу по USB на компьютер для конечной обработки данных со скоростью до 2 Гбит/с.

Разработка печатной платы, взаимодействующей с радиотрансивером, выполнена в САПР Mentor Graphics. При помощи программных пакетов Vivado и Kinetis Design Studio были разработаны и отлажены программы для ПЛИС и микроконтроллера.

На макетной плате проведены, с использованием измерительного автоматизированного оборудования Rohde & Schwarz, экспериментальные исследования основных параметров приемника таких как чувствительность, приведенные шумы ко входу, динамический диапазон по блокированию и др. [3]

Полученный в результате разработки макет позволяет принимать сигналы по каждому из двух независимых каналов в широком диапазоне частот от 70 МГц до 6 ГГц с шириной канала от менее чем 200 кГц до 56 МГц, производить цифровую обработку принятых сигналов и передавать обработанные данные по высокоскоростному интерфейсу USB 3.0.

Литература

1. **Сотников А., Русов И.** Интегрированный конфигурируемый приемопередатчик диапазона 70 МГц-6 ГГц //Компоненты и технологии. — 2014. — №. 2. — С. 89–93.
2. **AD9361** R. Agile transceiver, data sheet, analog devices. — 2013.
3. **Бернард Скляр**. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. — М.: Издательский дом «Вильямс». 2003.

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

ПРИЛОЖЕНИЕ ТЕОРИИ СЛАБОГО ХАОСА К ОБРАБОТКЕ ОТРАЖЁННОГО ОТ ЧЕЛОВЕКА РАДИОСИГНАЛА

Радиолокационное зондирование человека в миллиметровом диапазоне волн в совокупности с целенаправленной обработкой отражённого сигнала в специальном программно-аппаратном измерительном комплексе является перспективным средством неконтактной диагностики функциональных состояний человека [1].

В докладе рассматривается результат целенаправленной обработки пульсового компонента отражённого сигнала в виде её ритмограммы. Изучение этой отражающей динамику сердечного ритма характеристики показало обязательное присутствие в ней небольшой хаотической составляющей [1]. Следовательно, есть основание математический анализ этой характеристики проводить с использованием теории слабого хаоса в гамильтоновских системах [2].

Анализируемая характеристика, полученная при обработке пульсового компонента отражённого сигнала, приведена на рис. 1 и согласно указанной теории имеет квазирегулярную составляющую, называемую сепаратрисой, и хаотическую составляющую в виде стохастического слоя или стохастической паутины.

Рис. 1. Ритмограмма пульсового компонента отражённого сигнала

Литература

1. **Федоров В.А.** Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. **Заславский Г.М., Сагдеев Р.З., Усиков Д.А., Черников А.А.** Слабый хаос и квазирегулярные структуры. М.: Наука Гл. ред. физ-мат.лит., 1991.

Пьё Най Пайн, студ.; рук. В.А. Федоров, доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ ФРАКТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТРАЖЁННОГО ОТ ЧЕЛОВЕКА РАДИОСИГНАЛА

Полученный при радиолокационном зондировании человека отражённый сигнал содержит информацию о функциональном состоянии испытуемого [1]. Целенаправленная обработка пульсового компонента такого сигнала в специальном программно-аппаратном измерительном комплексе позволяет выделить информативные характеристики, например, фрактальные характеристики спектра ритмограммы [2].

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

В докладе рассматриваются результаты анализа фрактальной размерности Хаусдорфа-Безиковича в частотных кластерах спектра ритмограммы, полученного при обработке пульсового компонента отражённого сигнала.

Экспериментально показана зависимость величины фрактальной размерности в кластере от функционального состояния каждого из восьми испытуемых-при выполнении ими теста Ромберга.

Опираясь на результаты анализа рассматриваемых фрактальных характеристик, продемонстрирована возможность классификации функциональных состояний испытуемых.

Литература

1. **Федоров В.А.** Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. **Тимашева Т.Г**. Эффективные методы обработки миллиметровых сигналов, отраженных от объекта со сложным характером движения: дисс… канд. техн. наук: 05.12.04. М., МЭИ, 2014.

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

ПОДГОТОВКА НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОТРАЖЁННОГО СИГНАЛА БЛИЖНЕЙ РАДИОЛОКАЦИИ

Развитие теории искусственных нейронных сетей, её практических приложений и техники современных ПЛИС предоставляет новые возможности для решения актуальных задач обработки сложных радиосигналов.

В докладе представлены результаты предварительного этапа работы, ориентированной на распознавание сложных отражённых сигналов ближней радиолокации в условиях отсутствия точно определенных критериев их распознавания.

Использование нейронной сети предусматривает её целенаправленную подготовку: обучение сети на специально выбранной выборке и определение вероятности распознавания обученной сети.

Вводятся следующие критерии для определения количества признаков:

1. Признаки должны отличаться для объектов, принадлежащих разным классам.

2. Они должны совпадать по своим значениям для объектов одного класса.

Полное совпадение статистических параметров сигналов возможно, только если сигнал эргодический и время наблюдения стремится к бесконечности. Неэргодический сигнал или сигнал, наблюдаемый конечное время, образует некую область в многомерном пространстве признаков [1].

Используются два способа распознавания сигналов:

1. Представление сигнала в виде объёмной матрицы символов, нормированных на максимальное значение, и дальнейшее обучение нейронной сети по данным входным параметрам.

2. Составление вектора в пространстве признаков, в которое входят математическое ожидание, дисперсия, СКО, эксцесс, асимметрия.

Разработано с использованием языка программирования Python программное обеспечение для распознавания с помощью нейронной сети графических образов цифр от 0 до 9.

Нейронная сеть обучалась 10 эпох на выборке из 10000 графических изображений и имеет вероятность правильного распознавания изображения 98%.

Литература

1. **Тихонов В.И.** Статистическая радиотехника. М.: Советское радио, 1966.

А.А. Гущин, И.И. Трифонов, студенты; рук. А.В. Щукин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СОСТАВНОЙ ЧАСТИ БИОРАДИОЛОКАТОРА НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СВЧ УСТРОЙСТВ

Разработанный в МЭИ и применяемый в учебном процессе больше двадцати лет микродоплеровский биорадиолокатор-измеритель для бесконтактной оценки физиологического состояния человека [1] имеет составную часть, выполненную на основе волноводной техники. Её объем составляет примерно 1,5 дм^3.

Недавно появились интегральные СВЧ устройства, выполненные по новой кремниево–германиевой (SiGe BiCMOS) технологии. Они позволяют изготовить радиолокационное устройство с габаритами 35×25×5 мм.

В докладе рассматриваются результаты разработки составной части биорадиолокатора на основе этой новой компонентной базы.

Локатор, работающий на частоте 60 ГГц, построен на основе микросхемы импульсно-когерентного радара компании Acconeer A111 [2]. Микросхема A111 представляет собой устройство со встроенными антеннами и цифровым интерфейсом.

Выходные данные микросхемы A111 передаются посредством интерфейса SPI и подвергаются первичной обработке в микроконтроллере STM32L476VGT6 [3].

На основе информации, полученной от микроконтроллера, производится цифровая обработка и анализ потока данных для последующей передачи в разработанное ранее устройство.

Разработаны макетный образец и первичное программное обеспечение устройства. Для отладки работы устройства используется последовательный интерфейс SWD. Тестирование и конфигурирование макетного образца устройства осуществляется с помощью ПК по интерфейсу USB с использованием конвертора USB-UART. Программное обеспечение разработано под ОС Windows на языке Python.

Литература

1. **Федоров В.А.** Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека. М.:Издательский дом МЭИ, 2008.
2. [Электронный ресурс]. URL: https://developer.acconeer.com/download/a111-datasheet-pdf
3. [Электронный ресурс]. URL: https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32l476je.pdf

В.А. Чумычкин, асп.; рук. Н.А. Галанина, д.т.н., профессор (ЧГУ им. И.Н.Ульянова, Чебоксары)

СИСТЕМЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ НА БАЗЕ ПЛИС В СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ

Высокоскоростная цифровая обработка сигналов (ЦОС) широко востребована и актуальна в современных радиоэлектронных устройствах. Применение системы остаточных классов (СОК) позволяет увеличить быстродействие цифровых устройств (ЦУ) за счет высокого уровня параллелизма операций и небольшой разрядности оснований СОК.

При проектировании устройств ЦОС в СОК операции сложения/вычитания и умножения возможно выполнить без использования встроенных в ПЛИС аппаратных DSP ядер [1], благодаря чему возможна реализация быстродействующих БПФ на бюджетных ПЛИС с малым количеством блоков DSP.

Существенную часть аппаратурных затрат для реализации ЦУ в СОК занимают шифраторы из позиционной системы в СОК и дешифраторы полученного результата. Новизна работы заключается в предложении применения доступных ядер DSP при реализации данных алгоритмов СОК.

В представленной работе авторами реализован алгоритм БПФ с прореживанием по времени в СОК [2], синтезированы шифраторы/дешифраторы двоичнокодированных данных в СОК. Для моделирования использовался ПЛИС серии Spartan-6 XC6SLX16 с 32-мя аппаратными ядрами DPS48A1 и 14579 логическими ячейками, построенными по архитектуре LUT с 6-ю входами.

Проведен сравнительный анализ производительности разработанной системы в СОК и классических алгоритмов БПФ в позиционной системе счисления, выполненных на одной элементной базе.

Результаты моделирования подтвердили возможность существенного увеличения быстродействия вычисления БПФ с увеличением количества отсчетов при использовании СОК.

Предложенные в работе методы ЦОС в СОК могут быть использованы в ЦУ анализа спектра в режиме реального времени.

Литература

1. **Галанина Н.А.** Анализ эффективности синтеза устройств вычислительной техники для непозиционной цифровой обработки сигналов / Н.А. Галанина, Н.Н. Иванова // Кибернетика и программирование. — 2015. — №3. — С. 1–6.
2. **Галанина Н.А.** Синтез функциональных модулей БПФ в СОК / Н.А. Галанина // Вестник Чувашского университета. — 2005. — №2. — С. 124–127.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИДАРА БЛИЖНЕГО ДЕЙСТВИЯ

Лазерное излучение получило широкое распространение для решения различных технических задач за счёт ряда уникальных характеристик. Когерентность и малая длина волны излучения, узкая диаграмма направленности, высокая стабильность и точность измерений позволяют решать задачи измерения дальности, протяженности и скорости объектов [1]. Устройства, использующие оптическое излучение для решения таких задач, получили название *лидар*.

Достижения в микроэлектронике и цифровой обработке сигналов позволяют производить компактные и бюджетные устройства для измерения расстояний на дистанции до нескольких десятков метров. Они широко востребованы, например, в автомобильной электронике, робототехнике, беспилотных летательных аппаратах.

Проблемы, возникающие при определении с помощью лидара малых расстояний, заключаются в том, что время задержки отражённого от объекта сигнала составляет десятки наносекунд, Это затрудняет измерение дальности импульсными методами, поскольку требуется формирование короткой длительности импульса излучения лазера и необходимы быстродействие фотоприемного устройства и широкополосность устройства обработки.

В докладе приведены результаты анализа параметров основных компоментов лидара: излучающего элемента, приёмника излучения и устройства обработки сигнала. Определена связь параметров компонентов с достижимой точностью измерения дальности. Проведено сравнение различных структурных схем построения лидаров и алгоритмов выделения полезной информации.

На основе компактного модуля [2] собран экспериментальный макет для исследования характеристик лидара. Изучен протокол взаимодействия с этим модулем. Разработана программа на языке LabView, предназначенная для управления модулем лидара и регистрации результатов измерения дальности для дальнейшего исследования.

Литература

1. **Звенигородский Э.Г., Каминский Ю.Д. и др.** Лазерные и оптические приборы для измерения скорости, расхода и длины // Приборы. 2005. № 8.
2. Mini LiDAR Module. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.elecrow.com/download/TF-MINI-LIDAR-USER-MANUAL.pdf. — Product Manual of TFmini. (дата обращения: 25.11.2019).

И.Д. Губанов, студ.; рук. Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф.;
Р.И. Поляк, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ФАЗОЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАССИВНОГО ЛЕСТНИЧНОГО LC-ФИЛЬТРА НИЖНИХ ЧАСТОТ

В аналого-цифровом тракте обработки сигналов перед АЦП необходимо ограничивать спектр. Для приближения граничной частоты фильтра к частоте Найквиста необходимо использовать ФНЧ высокого порядка, из-за которого возникают частотные искажения сигнала, связанные с нелинейностью фазочастотной характеристики (ФЧХ). В статье [1] предложен способ линеаризации ФЧХ при помощи цифровой обработки после АЦП.

В докладе рассматривается реализация такой цифровой коррекции ФЧХ на примере пассивного лестничного LC-фильтра Баттерворта 6-го порядка с граничной частотой 20 кГц. Расчет фильтра выполнен по методике, изложенной в [2]. Коррекция ФЧХ выполняется с использованием разработанного цифрового фильтра с конечной импульсной характеристикой (КИХ) [3].

Моделирование работы КИХ-фильтра проводилось в программе Micro-CAP с использованием 32-х отсчетов импульсной характеристики ФНЧ. Написание и отладка программного обеспечения для микроконтроллера (МК) выполнялись в среде программирования Keil uVision.

Практическая реализация КИХ-фильтра выполнена на 32-х битном МК STM32F4. В макете использовались входящие в состав МК 12-ти разрядные АЦП и ЦАП с частотой дискретизации 100 кГц.

Исследования показали, что реализованное корректирующее цифровое устройство обеспечивает линеаризацию ФЧХ и имеет перспективы практического применения.

Литература

1. **Гребенко Ю. А., Поляк Р.И.** Линеаризация фазочастотной характеристики фильтра нижних частот // Вестник МЭИ. 2015. №3.
2. **Лэм Г.** Аналоговые и цифровые фильтры. Расчет и реализация. — М.: Мир. 1982.
3. **Гребенко Ю.А.** Методы цифровой обработки сигналов в радиоприемных устройствах. — М.: Издательский дом МЭИ, 2006.

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

РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОЙ КОРРЕКЦИИ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНАЛОГОВОГО ФНЧ

Для цифровой обработки аналогового сигнала необходимо преобразование аналогового сигнала в цифровой сигнал. Такое преобразование выполняет аналого-цифровой преобразователь (АЦП), осуществляющий дискретизацию и квантование по уровню аналогового сигнала. Спектр дискретного сигнала периодический с периодом равным частоте дискретизации. Спектр дискретного сигнала — это сумма спектров аналогового сигнала, расположенных в окрестностях частот кратных частоте дискретизации. При суммировании спектров возникает «эффект наложения», который не позволяет точно восстановить аналоговый сигнал при обратном преобразовании. Для снижения влияния «эффекта наложения» перед АЦП ставят аналоговый фильтр нижних частот (ФНЧ), который должен подавлять высокочастотные составляющие спектра аналогового сигнала, не изменяя форму полезного сигнала. В идеале это возможно, если форма АЧХ аналогового ФНЧ прямоугольная, а ФЧХ линейная в полосе пропускания [1].

Известны варианты реализации ФНЧ с ФЧХ близкой к линейной (фильтры Бесселя), но их АЧХ по форме существенно отличается от прямоугольной. В докладе рассматривается реализация цифровой коррекции АЧХ лестничного LC-фильтра Бесселя 6-го порядка с помощью цифрового КИХ-фильтра с линейной ФЧХ. Импульсная характеристика КИХ-фильтра находится с помощью обратного дискретного преобразования Фурье последовательности дискретных отсчетов АЧХ КИХ-фильтра [2].

Моделирование последовательного соединения лестничного LC-фильтра Бесселя 6-го порядка и цифрового корректора АЧХ проведено в системе схемотехнического моделирования MicroCap. Результаты моделирования показали эффективность предложенного подхода.

В докладе также представлены результаты экспериментального исследования характеристик макета последовательного соединения лестничного LC-фильтра Бесселя 6-го порядка, АЦП и цифрового КИХ-фильтра корректора АЧХ, выполненного на микроконтроллере семейства STM32F4.

Представленные результаты экспериментального исследования подтвердили реализуемость и эффективность предложенного подхода.

Литература

1. **Лэм Г.** Аналоговые и цифровые фильтры. Расчет и реализация. — М.: Мир. 1982.
2. **Гребенко Ю.А.** Методы цифровой обработки сигналов в радиоприемных устройствах. — М.: Издательский дом МЭИ. 2006.

В.Г. Давыдов, студ.; рук. В.В. Афанасьев, д.т.н., проф.
(КНИТУ-КАИ имени А.Н. Туполева, Казань)

ОСОБЕННОСТИ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ ХАОТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СИСТЕМЫ ДМИТРИЕВА-КИСЛОВА

Радиоэлектронные системы с хаотической динамикой являются эффективными формирователями широкополосных сигналов, применение которых может обеспечить повышение конфиденциальности системы цифровой связи. Одной из широко известных систем с хаотической динамикой является система Дмитриева-Кислова [1].

Цель работы состоит в рассмотрении особенностей построения системы цифровой связи с применением переключения хаотических режимов дискретно-нелинейной системы Дмитриева-Кислова.

Разработаны программные средства для исследования воздействия ВЧ и НЧ шумов и помех в канале связи на эффективность обнаружения компонент сигналов дискретно-нелинейной системы Дмитриева-Кислова на основе корреляционного приема. Получены оценки допустимых отношений сигнал/шум при вариации длительности интервала корреляционного накопления, нормированного к периоду квазирезонансной частоты системы Дмитриева-Кислова.

Предложены структурные схемы вариантов реализации цифровых фильтров для нелинейного селективного подавления компонент сигналов дискретно-нелинейной динамической системы Дмитриева-Кислова. Проведены сравнительные исследования эффективности вариантов построения фильтров селективного подавления в условиях действия шумов. Обоснованы рекомендации по выбору параметров устройств нелинейного селективного подавления компонент сигналов дискретно-нелинейной системы Дмитриева-Кислова.

Разработанные средства моделирования и результаты исследования могут быть применены для оптимизации систем передачи информации с эффектами динамического хаоса на основе переключения хаотических режимов дискретно-нелинейной системы Дмитриева-Кислова.

Литература

1. **Дмитриев А.С., Панас А.И.** Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. — М.: Издательство Физико-математической литературы, 2002. — 252 с.

Секция 4.
АНТЕННЫЕ УСТРОЙСТВА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Председатель секции — Михайлов Михаил Сергеевич
Секретарь секции — Малевич Елена Сергеевна

П.В. Шапкин,студ.; рук. А.А. Комаров, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОРПУСА ИЗДЕЛИЯ НА РАБОТУ РЛС НА ОСНОВЕ ФАР

В работе рассматривается вопрос о влиянии корпуса изделия на диаграмму направленности (ДН) фазированной антенной решетки (ФАР). Методика расчета ДН ФАР с учетом рассеяния на проводящем корпусе изделия основывается на двух методах: зеркального отображения в электродинамике и теории дифракции на клине.

Был разработан метод построения ДН антенной решетки в присутствии подстилающей платформы и клина на краю платформы. Создана программа в среде «Mathcad» для графического представления ДН антенной решетки при различных параметрах платформы.

По итогам проведенных расчетов можно сделать вывод о том, что взятая для проведения расчета ФАР, в присутствии обозначенных условий, продолжит функционировать в рабочем режиме и сможет далее выполнять поставленные задачи, но при определённых углах сканирования. Так как при проведении расчёта было выявлено, что при углах сканирования больше 50° главный луч диаграммы направленности сначала сильно искажается, а при дальнейшем увеличении углов сканирования появляется еще один луч диаграммы направленности, что обусловлено отражением дифракционного лепестка диаграммы направленности антенной решетки от платформы.

По результатам проведённых расчётов было установлено, что приближенная методика, основанная на методе зеркального отображения, не адекватна данной задаче, так как полученные результаты существенно рознятся с результатами, полученными на основе строгой теории дифракции на клине.

Литература

1. **Сазонов Д.Н.** Антенны и устройства СВЧ**.** — М. Высшая школа, 1988.
2. **Уфимцев М.Я.** Метод краевых волн физической теории дифракции. — М. Советское радио, 1962.
3. **Сколник М.** Справочник по радиолокации. Том 2. — М. Советское радио, 1977.

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

НАПРАВЛЕННЫЕ ОТВЕТВИТЕЛИ НА МИКРОПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЯХ И МЕТОДЫ МИНИМИЗАЦИИ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ

В современном мире устойчиво сохраняется тенденция на уменьшение размеров устройств в области электроники. Это касается всех возможных диапазонов частот, в том числе и СВЧ.

В своей работе я хотел бы рассмотреть способы минимизации СВЧ трактов на микрополосках. Данная тематика актуальна связи с использованием таких трактов в мобильных телефонах, размер которых ограничен. Антенна, размещенная в корпусе мобильного телефона, для связи — приемно-передающая, для навигационных сигналов только на прием. Для экономии пространства это может быть одна и та же антенна. СВЧ-тракт должен быть выполнен достаточно точно, поскольку сильное влияние оказывает ближнее поле антенны [1].

В работе приводится анализ литературы [2–5], по минимизации линейных размеров устройств на микрополосковых линиях. Используя методы уменьшения габаритов, в работе моделируется работа направленных ответвителях при их минимизации с помощью САПР. Проводиться сравнение характеристик с устройствами стандартных размеров, посчитанных как инженерной методикой [6], так и в САПР.

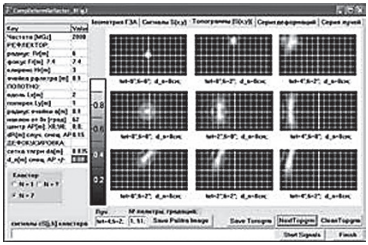
Литература

1. **Пермяков В.А., Корюкин А.Н., Михайлов М.С., Сороковик Д.В.** О формировании областей с малым значением электрического поля на конечном расстоянии от системы излучателей // Журнал Радиоэлектроники — 2013 — №7 — с. 14
2. **Ashmi Chakraborty Das, Lakhindar Murmu, Santanu Dwari,** A Compact Branch-Line Coupler Using Folded Microstrip Lines // IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., vol. 10, no. 7, pp. 1–3, Dec. 2013.
3. **Wei-Shin Chang and Chi-Yang Chang** A high slow-wave factor microstrip structure with simple design formulas and its application to microwave circuit de-sign // IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 60, no. 11, pp. 3376–3383, Nov. 2012.
4. **Chao-Hsiung Tseng and Chin-Lin Chang** A rigorous design methodology for compact planar branch-line and rat-race couplers with asymmetrical T-structures // IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 60, no. 7, pp. 2085–2092, July 2012.
5. **Kimberley W.** Eccleston and Sebastian H.M. Ong Compact planar microstrip line branch-line and rat-race couplers // IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 51, no. 10, pp. 2119–2125, Oct. 2003.
6. **Сазонов Д.М.** Антенны и устройства СВЧ: Учеб. для радиотехнич. спец. вузов. — М.: Высш. шк., 1988. — 432 с.: ил.

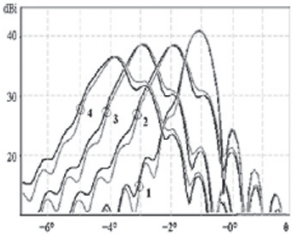
В.В. Мочалов, асп.; рук. Ю.И. Чони, к.т.н., доц. (КНИТУ-КАИ, Казань)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБРИДНО-ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

Анализ и оптимизация характеристик крупногабаритной многолучевой гибридной зеркальной антенны (МГЗА) в интересах спутниковой системы связи требуют многовариантных расчетов диаграмм направленности (ДН) лучей и фокальных пятен на антенном полотне при облучении рефлектора с разных направлений [1-2]. В среде Delphi была разработана программа моделирования МГЗА, интерфейс которой приведен на рис. 1а.



а)



б)

Рис. 1. Интерфейс программы CompDeformReflector: закладка «Топограммы» (а); ДН четырех смещенных облучателей, рассчитанные в Grasp и по программе соответственно черные и серые линии (б)

Программа Ticra Grasp предназначена для моделирования различных зеркальных антенн, однако в ней не предусмотрен расчет фокальных пятен. Это ограничивает использование Grasp для выбора рациональной конфигурации и оптимального возбуждения кластеров МГЗА.

В разработанной программе реализован алгоритм «акустического» приближения: рефлектор представляется набором источников сферических волн, возбуждаемых падающей волной или сферическими волнами элементов кластера. Основаниями принятых допущений служат следующие особенности МГЗА: 1) при офсетной схеме нет затенения рефлектора; 2) у длиннофокусной антенны деполяризация мала; 3) рабочая область ограничена малым телесным углом; 4) ДН лучей представляют интерес в области главного лепестка.

Результаты проверочных расчетов (рис. 1б) свидетельствуют о приемлемой точности разработанной программы.

Литература

1. **Пономарев Л.И., Вечтомов В.А., Милосердов А.С.** Бортовые цифровые многолучевые антенные решетки для систем спутниковой связи. М: МГТУ, 2016.
2. **Чони Ю.И., Романов А.Г., Данилов И.Ю., Мочалов В.В.** Дофокусировка многолучевой гибридно-зеркальной антенны в условиях эксплуатационных нагрузок. Наукоемкие технологии, 2017, №12, С 85–90.

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

РАЗРАБОТКА ИЗЛУЧАТЕЛЯ АНТЕННЫ ВЫСОКОЙ МОЩНОСТИ

Зеркальные антенны являются наиболее распространенными остронаправленными антеннами. Их широкое применение в самых разнообразных радиосистемах объясняется простотой конструкции, возможностью получения разнообразных видов ДН, высоким КПД, малой шумовой температурой, хорошим диапазонными свойствами и т.д. В радиолокационных применениях зеркальные антенны позволяют легко получить равносигнальную зону, допускают одновременное формирование нескольких ДН общим зеркалом. Зеркальные антенны являются наиболее распространенным типом антенн в космической связи и радиоастрономии, и именно с помощью зеркальных антенн удается создавать гигантские антенные сооружения с эффективной поверхностью раскрыва, измеряемой тысячами квадратных метров.

Классическими являются параболические антенны, которые могут выполняться в виде параболоида вращения, параболического цилиндра или закрытой конструкции, ограниченной параллельными проводящими плоскостями. Параболоид вращения возбуждается слабонаправленным излучателем (например, рупором), помещенным в фокусе зеркала, и преобразует сферический фронт волны в плоский.

Задача состоит в выборе облучателя системы зеркальных антенн для показания наилучших результатов:

1) произведен выбор облучателя системы, а именно рупорная антенна;

2) было решено, что для достижения поставленной цели необходим гофрированный рупор.

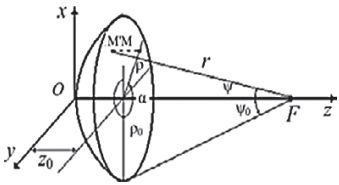


Рис. 1. Параболоид вращения

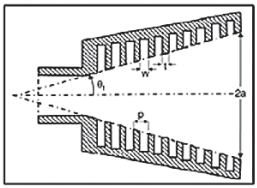


Рис. 2. Гофрированный рупор

Литература

1. **Сазонов Д.М.** Антенны и устройства СВЧ. Учебник. 1988г.
2. **Niraj Tevar, Prarthan Mehta, Kiritkumar Bhatt.** A Review Paper on Conical Corrugated Horn Antenna. International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), 2016.

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

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОДИАПАЗОННОГО ОБЛУЧАТЕЛЯ ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

Применение многодиапазонных облучателей значительно повышает эффективность использования зеркальных антенн (ЗА). Данный тип облучателей позволяет использовать самый крупный элемент зеркальной антенны — рефлектор для работы на разных диапазонах одновременно, что значительно повышает многофункциональность и эффективность антенны. Часто применение такого типа облучателей является необходимым решением. Например, при работе в условиях ограниченного пространства — не представляется возможным устанавливать отдельные зеркала для каждого диапазона.

Одним из путей решения данной задачи является создание сверхширокополосного облучателя, перекрывающего весь требуемый частотный диапазон. Однако, данный способ имеет ряд существенных недостатков. Другой метод решения данной задачи — создание многодиапазонного облучателя, обеспечивающего необходимые характеристики ЗА сразу в нескольких частотных диапазонах. В таком типе облучателей каждый излучатель настраивается на свой независимый частотный диапазон. В данной работе рассматривается проектирование такого типа облучателя, обеспечивающего работу в метровом и дециметровом диапазонах длин волн.

Основной задачей является добавление к уже разработанному облучателю дециметрового диапазона, рассмотренного в [3], возможности работы в метровом диапазоне без значительного ухудшения характеристик. В качестве облучателя метрового диапазона используется кольцевая антенна с вибраторным возбуждением, образующая открытый конец коаксиального волновода. Диаметры коаксиального волновода подбираются исходя из соблюдения условий распространения волны H_{11} в коаксиальном волноводе:

$$\lambda_{кр11} \approx \frac{\pi(D+d)}{2},$$

где $\lambda_{кр11}$ — критическая длина волны H_{11}; D — внешний диаметр коаксиального волновода; d — внутренний диаметр коаксиального волновода.

Литература

1. **Вуд П.** Анализ и проектирование зеркальных антенн: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1984. — 208 с.
2. **Коган Б.Л.** Поляризационные характеристики антенн: учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2011. — 42 с.
3. **Селезнев В.Н., Белькович И.В., Коган Б.Л.** Расчет и моделирование облучающего устройства для наземных антенн, входящих в состав комплексов системы «Коспас-Сарсат» // Антенны. 2015. №9 (220) С. 23–26.

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

ИЗМЕРЕНИЕ РЕАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО СЕТИ WI-FI В ЗАКРЫТОМ ПОМЕЩЕНИИ

В современном мире необязательно подключаться к персональному компьютеру (ПК) с помощью проводов, для того чтобы передать какую-нибудь информацию. Достаточно будет развернуть сеть Wi-Fi, посредством специального Wi-Fi роутера или Wi-Fi модуля.

В данной работе рассмотрена зависимость реальной скорости передачи данных по сети Wi-Fi от расстояния в закрытом помещении, с помощью специального модуля. Данное изделие является модулем, предназначенным для передачи видео и аудио данных по сети Wi-Fi в двух режимах работы:

- Режим маршрутизатора (Routing Mode).
- Режим моста (Bridge Mode).

Routing Mode может использоваться при объединении подсетей, имеющих разное адресное пространство, а Bridge Mode может использоваться для объединения сетей, имеющих единое адресное пространство.

Концепция использования Routing Mode:

- В этом режиме изделие не просто принимает и передает данные, но и перераспределяет их согласно различным установленным правилам и выполняет заданные команды.

Концепция использования Bridge Mode:

- Изделие работает в качестве прозрачного моста. Модем абсолютно прозрачно пропускает трафик от устройства пользователя до изделия, не блокируя трафик по портам.

Измерение зависимости реальной скорости передачи данных от расстояния проведено несколькими методами в условиях офисного здания.

Литература

1. **Пролетарский А.А.** «Технологии современных беспроводных сетей Wi-Fi» — М: Издательство МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА 2017

Н.С. Максимов, студ.; Д.В. Котов, асп.;
рук. А.А. Курушин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ В СОСТАВЕ МНОГОСЛОЙНОЙ ПЕЧАТНОЙ АНТЕННЫ

Активная антенна — это антенна, в которой активное устройство интегрировано, непосредственно, в СВЧ структуру и улучшает характеристики антенны [1].

Моделирование основано на совмещении результатов электродинамического расчета структуры антенны с электрической моделью GaN-транзистора. Активным устройством является GaN-транзистор QPD 1008L [2], используемый для широкополосных усилителей с низким коэффициентом шума, высоким коэффициентом усиления и работающий до 3.2 ГГц. Топология печатной антенны представлена на рисунке 1. GaN- транзистор QPD1008L [3] интегрирован во входную микрополосковую линию вместе с согласующими цепями.

В работе представлены результаты проектирования и моделирования выходного усилителя мощности [3] в составе печатной антенны, рассчитаны согласующие цепи. Приведены возможности совместного моделирования печатной антенны и УМ с коэффициентом усиления 16 дБ, выходной мощностью до 100 Вт, центральной частотой 2.4 ГГц.

В докладе приведены результаты исследования математической модели усилителя мощности, разработанной в среде Advanced Design System и печатной антенны в CST Microwave Studio.

Литература

1. **Y. Taachouche, M. Abdallah, F. Colombel, G. Le Ray M. Himdi** «Active Compact Antenna for Broadband Applications» Progress In Electromagnetics Research Letters, 2014, pp. 121–140.
2. [Электронный ресурс] URL: https://www.qorvo.com/
3. **Сечи Ф., Буджатти М.** «Мощные твердотельные СВЧ-усилители» Издательство техносфера, 2016. — 416 с.

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»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ В ВИДЕ ОДИНОЧНОЙ КОЛЬЦЕВОЙ КАНАВКИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЯ В ДВУХМОДОВОМ КОНИЧЕСКОМ РУПОРЕ

Существует несколько модификаций конических рупорных антенн, удовлетворяющих основным требованиям, предъявляемым к форме их ДН, например, рупор Поттера [1] и рупор Скобелева [2]. В работе [3] было показано, что в обоих случаях геометрические параметры неоднородности, располагающейся в области рупора, где эффективно возбуждаются две собственные волны конической области, подбираются с целью формирования апертурного амплитудно-фазового распределения (АФР), приближающегося к осесимметричному и спадающего к краю апертуры рупора. Такой метод подбора этих параметров является достаточно трудоемкой задачей. Чтобы облегчить процедуру разработки двухмодовых рупоров с осесимметричной ДН, желательно «развязать» процедуру подбора геометрии неоднородности и процедуру выбора ее местоположения. Идея такой развязки была впервые высказана, видимо, в работе Дж. Рота, который предложил конструкцию рупора с гофрированной секцией в виде набора кольцевых короткозамкнутых канавок, глубины которых близки к резонансным (входной импеданс принимает большие значения), расположенной в области горловины рупора и примыкающей к раскрыву питающего волновода. При использовании неоднородности такого типа возникает возможность разделения двух задач: задачи выбора геометрических параметров неоднородности и задачи формирования осесимметричного спадающего к краям АФР в апертуре рупора.

Данная работа посвящена формированию спадающего близкого к осесимметричному АФР на выходе неоднородности в виде гофрированной секции. При этом исследуется наиболее простой и дешевый вариант исполнения гофрированной секции: одиночная узкая кольцевая короткозамкнутая канавка в той области рупора, в которой эффективно возбуждаются две собственные волны.

Литература

1. **Potter P.D.** A new horn antenna with suppressed sidelobes and equal beamswidths // Microwave Journal. 1963. June. N. 6. p. 71–78.
2. **Skobelev S.P., et al.** Optimum Geometry and Performance of a Dual-Mode Horn Modification // IEEE Antennas and Propagation Magazine. 2001. V. 43. N. 1. P. 90-93.
3. **Кондратьев А.С., Тарасов Е.А.** Исследование характеристик двухмодовых конических рупорных антенн. // Антенны. 2017. N. 9. P. 60–66.

А.Г. Хакимова, студ.; рук. Е.С. Малевич, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ

Задача распространения радиоволн в городской местности является крайне востребованной в современном мире, особенно с увеличением урбанизации за последние десятилетия. Городская местность представляет собой сложную физическую среду с высокой степенью неоднородности и анизотропий.

Методы численного моделирования позволяют решать задачи распространения радиоволн в таких неоднородных средах, как участки городской застройки и области внутри зданий.

В работе использованы методы вычислительной электродинамики и вычислительной математики. Численное моделирование проводилось в среде GNU Octave / MATLAB.

Основой для проведения расчетов является трехмерная модель исследуемого пространства. Проводятся расчеты уровней радиоизлучений в пределах двух соседних зданий и между ними. Для этого мы создали пространственную модель двух зданий. Между зданиями расположена только плоская бетонная поверхность. Область расчетов является прямоугольным параллелепипедом, включающим в себя оба здания и воздушное пространство между ними. Далее добавим в модель источник излучения и контрольные точки. Источник излучения является идеальным формирователем гармонического сигнала с частотой 450 МГц идеально согласованного с короткой дипольной антенной, расположенной на высоте 1,5 м над полом. Для получения адекватных результатов должны выполняться два главных условия: это точное воспроизведение геометрии зданий и точное задание электродинамических характеристик материалов.

Литература

1. **Банков С.Е., Курушин А.А.**, Расчет и моделирование распространения радиоволн в городской среде и пересеченной местности с помощью программы Wireless InSite.– Режим доступа: http://www.ipso.ioso.ru
2. **P. Valtr, P. Pechac, V. Kvicera and M. Grabner**, “A Radiowave Propagation Study in an Urban Environment using the Fourier Split-Step Parabolic Equation,” The Second European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2007, Edinburgh, 2007, pp. 1–5.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЧ ФИЛЬТРА НА МИКРОПОЛОСКАХ

Фильтрами СВЧ называют пассивные четырехполюсники, которые осуществляют выделение частотных составляющих, расположенных в полосе пропускания этого фильтра, и подавления частотных составляющих, попадающих в полосы задерживания.

Сверхвысокие частоты — это радиочастоты в диапазоне от 3 до 30 ГГц. Однако традиционно устройствами СВЧ называют устройства, предназначенные для работы в диапазоне частот приблизительно от 300 МГц до 300 ГГц. Основная особенность устройств СВЧ — соизмеримость их линейных размеров с длиной волны (рис. 1), и поэтому физические процессы, проходящие в них, имеют волновой характер.

Важнейшими характеристиками СВЧ фильтров являются S-параметры, т.е. прямой/обратный коэффициенты передачи и коэффициенты отражения по входу/выходу. Путем подбора технологии и моделирования возможно добиться оптимальных параметров фильтра для определенной области использования.

В последнее время в связи с повышением степени интеграции радиотехники СВЧ все большее внимание уделяется устройствам на микрополосковых линиях передачи (МПЛ). Устройства на МПЛ компактны, просты в изготовлении, обладают высокой ремонтопригодностью и удобны для монтажа твердотельных компонентов. Микрополосковая технология нашла широкое применение в различных областях радиотехники: в мобильных и бортовых средствах радиосвязи, радиолокации и радионавигации.

В работе приведены результаты сравнения моделирования работы фильтров СВЧ низкочастотными инженерными методиками и в программах электродинамического моделирования.

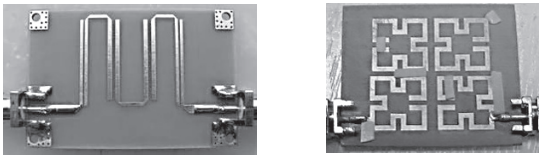


Рис. 1. Пример реализации микрополосковых СВЧ фильтров

Литература

1. **Сазонов Д.М.** Антенны и устройства СВЧ: учебник для радиотехнических спец. вузов. Москва, Высшая школа, 1988 — 432с.
2. **Фуско В.** СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: Пер. с англ. / Москва, «Радио и связь», 1990 — 288с.

А.И. Спирин, студ.; рук. Е.С. Малевич, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАДИОЛОКАЦИЯ В ЛЕСНОЙ СРЕДЕ И ОБНАРУЖЕНИЕ СКРЫТЫХ ОБЪЕКТОВ

Особенности распространения радиоволн (РРВ) в лесах играют большую роль в такой области, как радиолокация. В частности, в таких областях науки и техники, как беспроводные системы связи, дистанционное зондирование и обнаружение объектов.

Леса как живые растительные среды представляют собой гетерогенные системы, состоящие из несущей среды — воздуха и из случайно распределенных в пространстве и имеющих различную форму, размеры и пространственную ориентацию растительных элементов (стволов, ветвей, листьев, игл и пр.) [1, 2, 3]. Это приводит к тому, что за счет механизмов РРВ в лесах, таких как, многократное рассеяние, дифракция и поглощение электромагнитных волн (ЭМВ) элементами лесной растительности, амплитуды и фазы распространяющихся в них радиоволн претерпевают пространственно-временные флуктуации, причем с повышением рабочих частот глубина этих флуктуаций возрастает.

В данной работе будет выбрана статистическая модель представления леса. В ней элементы растительности представляются случайно распределенными и ориентированными элементарными рассеивателями. Используя пакет прикладного программирования GNU Octave/MATLAB, будем моделировать лесной массив и рассчитывать отражение и рассеяние электромагнитных волн на нем. Имитацией леса будет неравномерно распределенные цилиндры, локализованные на определенной площади.

Данная работа позволит как определять плотность лесов, так и обнаруживать скрытые объекты, электродинамические параметры которых будут отличаться от стволов деревьев.

Литература

1. **V.A. Permyakov, M.S. Mikhailov and E.S. Malevich**, “Analysis of Propagation of Electromagnetic Waves in Difficult Conditions by the Parabolic Equation Method,” in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 67, no. 4, pp. 2167–2175, April 2019.
2. **E.S. Malevich, M.S. Mikhailov and A.A. Volkova**, “Comparison of the Results of an Experimental Research of the Radio Wave Propagation in the Forest with Numerical Simulation,” 2019 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW), Divnomorskoe, Russia, 2019, pp. 364–367.
3. **A.A. Volkova, E.S. Malevich and M.S. Mikhailov**, “Numerical Simulation of Radio Wave Propagation in a Forest Environment Using the Constructor of Individual Trees,” 2019 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW), Divnomorskoe, Russia, 2019, pp. 360–363.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХДИАПАЗОННОЙ КВАДРИФИЛЯРНОЙ АНТЕННЫ

В данной работе было проведено исследование и моделирование двухдиапазонной квадрифилярной антенны, рассчитанной на работу в диапазонах L1 и L2 глобальной навигационной системы ГЛОНАСС.

ГЛОНАСС — глобальная навигационная система Российского производства, одна из двух полностью развернутых и работоспособных глобальных навигационных систем. В ней применяются сигналы с частотным разделением, в двух основных диапазонах, а именно L1 (1602 МГц) и L2 (1246 МГц). Именно на эти частоты и производится расчет и настройка антенны.

Квадрифилярная антенна является разновидностью спиральной антенны и состоит из четырех спиралей [1]. От направления витков будет зависеть поляризация излучаемых и принимаемых волн. От физических размеров будет зависеть центральная частота, ширина полосы, наличие второй резонансной частоты. Данную антенну можно запитать несколькими способами [2], в данной работе рассматривается способ запитки антенны с использованием симметрирующего устройства, являющегося частью антенны и позволяющего запитать антенну с помощью коаксиального кабеля.

В процессе выполнения работы, для сравнения результатов и получения начальных параметров для проектирования двухдиапазонной антенны, были спроектированы и смоделированы квадрифилярные антенны для работы в каждом из исследуемых диапазонов.

В результате моделирования были получены и исследованы характеристики этих антенн, а именно диаграммы направленности, S-параметры и КСВ.

Литература

1. ИКД ГЛОНАСС L1, L2, редакция 5.1/ НИИ КП, 2008
2. **Slade B.** The Basics of Quadrifilar Helix Antennas / Orban Microwave, 2015
3. **Hollander R. W.** Resonant Quadrifilar Helix Antenna/ Technote, 1991

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

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ПОРТРЕТЫ

Радиолокационную заметность цели характеризует величина отраженной от нее мощности, пришедшей на вход приемной антенны локатора. Для количественного описания рассеяния в радиолокации применяется термин — эффективная площадь рассеяния (ЭПР).

Определение ЭПР принято формулировать следующим образом: ЭПР это такая площадь некоторой плоской поверхности, расположенной нормально к направлению падающей волны и являющейся идеальным отражателем, которая, будучи помещена в точку расположения цели, создаст у приемной антенны радиолокационной станции ту же плотность потока мощности, что и рассматриваемая цель.

В радиолокации различают два типа локационных систем по способу расположения приемной и передающей антенн. В двухпозиционной РЛС передача и прием сигнала производятся двумя разнесенными антеннами, в однопозиционной передача и прием сигнала осуществляется на одну и ту же антенну. Этим двум типам соответствует свое понятие ЭПР — бистатическое и моностатическое.

Практическое применение характеристики ЭПР в радиолокации связано с тем, что принимаемый РЛС сигнал пропорционален ЭПР. Если цель распределенная, то на приемную антенну придут сигналы отраженные от ансамбля светящихся точек изучаемого объекта, в общем случае ЭПР от светящихся точек не равны. Тем самым радиолокационный портрет, это изображение формируемое на мониторе радиолокатора, по которому можно идентифицировать объект. Чаще всего это невозможно, поэтому при построении радиолокационных портретов учитывают изображения при разных углах поворота цели.

Зависимость ЭПР от угла отражения называют диаграммой обратного рассеяния (ДОР). Эта диаграмма измеряется путем вращения объекта вокруг оси при фиксированном положении приемно-передающей антенной системы.

Цель работы заключается в создании программы для отображения радиолокационного портрета при изменении угла расположения объекта и при изменении его характеристик.

Литература

1. **Львова Л.А.** Радиолокационная заметность летательных аппаратов. — Снежинск: Изд-во РФЯЦ — ВНИИТФ, 2003.
2. **Кобак В.О.** Радиолокационные отражатели. М.: «Сов. радио», 1975.
3. **Баскаков А.И, Жутяева Т.С.** Локационные методы исследования объектов и сред. М.: Академия, 2011.

Е.Г. Воронов, студ.; рук. М.С. Михайлов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

В данной работе рассматривались методы измерения диэлектрической ε проницаемости различных материалов.

Основываясь на [1] и [2], способы измерения диэлектрических свойств можно разделить на 4 типа: коаксиальный пробник (КП), линия передачи (ЛП), свободное пространство (СП), объемный резонатор (ОР).

КП используется для измерения диэлектрической проницаемости в большой полосе частот для жидких и полутвёрдых материалов с большими потерями. ЛП — широкополосный метод для измерения μ и ε твёрдых материалов со средними и низкими потерями. Метод СП — бесконтактный и наилучший для измерения ε для высоких температур, но требует большие и плоские образцы. Метод ОР позволяет получить ε для образцов малых размеров с низкими потерями.

Для получения диэлектрической проницаемости определяется матрица рассеяния и пересчитывается следующими методами, описанными в [3].

NRW (Nicolson-Ross-Weir) позволяет вычислить ε и μ; не итеративный. В NIST iterative μ полагается равной единице, итеративный, требуется начальное приближение, вычисляется ε. New non-iterative: μ полагается равной единице, не требует начального приближения позволяет вычислить ε. SCL (Short circuit line) позволяет из S11 вычислить ε, итеративный и требует начальное приближение.

Оптимальными методами измерения и расчёта диэлектрической проницаемости является пара — линия передачи и NRW. Из-за широкой полосы частот, не сложной формы образца, не итеративности и отсутствием начального приближения.

Литература

1. Agilent 5989-2589EN (Basics of Measuring the Dielectric Properties of Materials).
2. **James Baker Jarvis, Michael D. Janezic, Bill F. Riddle, Robert T. Johnk, Pavel Kabos, Christopher L. Holloway, Richard G. Geyer, Chriss A. Grosvenor.** Measuring the Permittivity and Permeabiiity of Lossy Materials: Solids, Liquids, Metals, Building Materials, and Negative-Index Materials. NIST Technical Note 1536. Electromagnetics Division National Institute of Standards and Technology Boulder, CO 80305 February 2005.
3. Measurement of Dielectric Material Properties (Rohde&Schwarz Application Note).

Е.Г. Климентьева, студ.; рук-ли А.А.Курушин, к.т.н., доц.;
М.С.Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЩЕЛЕВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ X-ДИАПАЗОНА

Современные коммерческие программы электродинамического моделирования СВЧ устройств [1] имеют мощное средство — периодические граничные условия, которые позволяют выполнить моделирование бесконечной фазированной антенной решетки, каждый из элементов которой может быть достаточно сложной, например, антенной Вивальди или щелевой антенной. Если в структуре выделить периодически повторяющуюся часть, то удобным является применение канала Флоке.

Анализ многоэлементной антенной решетки (рис. 1) выполнен как бесконечная ФАР, используя канал Флоке, а также в единой конструкции для линейки щелевых антенн из 10 элементов. В последнем случае получено, что положение главного лепестка при сканировании в диапазоне углов +/- 70° изменяется не более чем на 2°, что позволяет установить границу в 10 элементов для метода расчета, используя канал Флоке и метода анализа в виде общей конструкции.

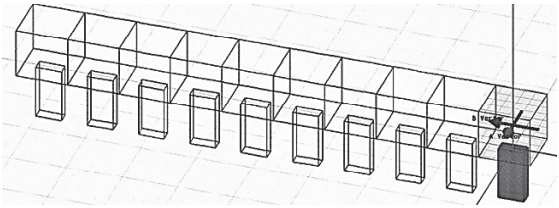


Рис. 1. Линейка ФАР как часть общей конструкции фазированной антенной решетки

В процессе проектирования ФАР было выполнено:

1) Обзор существующих видов антенных решёток;

2) Разработана последовательность поэтапного проектирования фазированной антенной решётки;

3) Выполнено моделирование ФАР в разных системах автоматического проектирования.

Литература

1. **Банков С.Е.** Решение оптических и СВЧ задач с помощью HFSS/Банков С.Е., Гутцайт Э.М., Курушин А.А. — М; ООО «Оркада», 2012 — 250 с.

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

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ РАБОТАЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ СУЩЕСТВОВАНИЯ ТРОПОСФЕРНЫХ ВОЛНОВОДОВ

В последнее время большой интерес представляют вопросы об условиях загоризонтного распространения радиоволн (РРВ) в тропосферных волноводах [1]. Атмосферные условия преломления на высоте над уровнем моря значительно влияют на работу РЛС и средств связи в море и на берегу.

В большинстве работ, посвященных распространению радиоволн, основной упор делается на учет влияния волновода испарения (ВИ), в данной работе учтено влияние и ВИ, и приповерхностного (ППВ). Также, по рекомендациям союза электросвязи принято различать еще и приподнятый. Но на работу радиолокатора он не влияет, так как располагается на высотах порядка нескольких километров.

Волновод испарения располагается над поверхностью моря, а его высоты могут достигать нескольких метров. Высота приповерхностного волновода составляет от 50-70 метров до нескольких сотен метров.

В работе приведены примеры влияния волноводов испарения и приповерхностных волноводов, и влияние комбинации ВИ и ППВ.

Ранее исследовались системы с одной антенной [2], работающей в условиях возникновения ВИ или ППВ. Новизна в настоящей работе заключается в исследовании антенной решетки, которая работает в условиях возникновения тропосферного волновода (ВИ и ППВ). Рассмотрено влияние на энергетические характеристики РЛС таких факторов, как высота ВИ, высота ППВ, высота передающих антенн, различные вариации положения антенн друг от друга, количество элементов в антенной решетке. А также исследуется смещение центра тяжести распределения такой системы на распространение в волноводе [3].

Литература

1. **Permyakov V. A., Mikhailov M. S., Malevich E. S.** Analysis of Propagation of Electromagnetic Waves in Difficult Conditions by the Parabolic Equation Method // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Volume: 67 , Issue: 4 , April 2019 , Page(s): 2167–2175, DOI: 10.1109/TAP.2019.2905674.
2. **Михайлов М.С., Пермяков В.А., Махалов А.М.** Ограничения на дальность действия радиосистем в волноводе испарения // Известия высших учебных заведений. Физика. 2016. Т. 59. № 12–3. С. 141–144.
3. **Баскаков А.И., Гусевский В.И., Михайлов М.С., Клементьева А.В.** Эквидистантная решетка остронаправленных антенн // Патент РФ на изобретение RUS 2649043 15.12.2016.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ СИГНАЛА В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ ВОЛНОВОДЕ

В большинстве исследований, посвященных изучению загоризонтного распространения радиоволн, основной упор делается на учет влияния волновода испарения. В этой работе рассмотрим распространение не только в волноводе испарения, но в тропосферном приповерхностном волноводе.

Появление тропосферных волноводов связано с инверсией модифицированного показателя преломления *m* с высотой. В нормальных же условиях показатель преломления должен уменьшаться монотонно.

В критериях нормальной тропосферы предельная дальность воздействия радиолокатора по надводным целям не имеет возможность превышать радиогоризонт. Над морской поверхностью вполне вероятно возникновение тропосферных волноводов. В руководствах международного союза электросвязи различают поверхностный (волновод испарения), приповерхностный и приподнятый волноводы. Приподнятый волновод находится на высотах около нескольких километров и на работу радиолокатора по надводным целям в основном не влияет. Слои инверсии метеорологических характеристик в приподнятых волноводах размещаются до 1-го километра, в одно и то же время могут существовать несколько таких слоев на разных высотах. Также возможно комбинирование этих волноводов [1].

Наибольшее воздействие на распространение радиоволн близко в области близкой к плоскости моря оказывают нижние волноводы. В работе приведены примеры воздействия волноводов испарения, приповерхностных волноводов и их соединения на работу радиолокатора.

В работе ведется моделирование распространение радиоволн в тропосферных волноводах способом численного решения параболического уравнения, реализованным на быстром преобразовании Фурье [2].

Литература

1. **Permyakov V.A., Mikhailov M.S., Borodko Y.A.** Propagation of radio waves in the presence of a combined tropospheric duct // 13th International Conference on Advanced Technologies, Systems and Services in Telecommunications, TELSIKS 2017 — Proceeding 13. 2018. С. 109–110.
2. **Permyakov V. A. Mikhailov M. S., Malevich E. S.** Analysis of Propagation of Electromagnetic Waves in Difficult Conditions by the Parabolic Equation Method // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Volume: 67, Issue: 4 , April 2019, Page(s): 2167–2175, DOI: 10.1109/TAP.2019.2905674

В.А. Маклашов, асп.; рук. М.Н. Пиганов, д.т.н., проф.
(Самарский университет-НИУ, г. Самара)

МЕТОДЫ ПОДАВЛЕНИЯ ПОМЕХ НА ВХОДЕ ПРИЕМНИКОВ СТАНЦИЙ АКТИВНЫХ ПОМЕХ

Традиционные методы подавления проникающих помех на входе приемников станций активных помех (САП) можно разделить на конструктивные и организационно-технические [1–4].

Конструктивный метод основан на применении различных вариантов изменения конструкции объектов размещения САП, путем создания между передающих и приемной антеннами САП препятствий с различными электродинамическими свойствами.

Организационно-технический метод основан на организации комплексного управления характеристиками излучаемых САП радиосигналов и введении в приемное устройство специальной аппаратуры.

Конструктивный метод обеспечения подавления проникающих помех на входе приемников САП реализуется путем изменения характеристик радиоканала распространения радиоколебания от передающей к приемной антенне САП.

Был проведен анализ конструктивного метода в условиях реального производства бортовых комплексов обороны военных самолетов. Он показал, что наиболее эффективными являются следующие варианты реализации этого метода:

1. Уменьшение уровня проникающей помехи путем размещения между антеннами САП плоских экранов.

2. Уменьшение уровня проникающей помехи путем выпуклых проводящих экранов.

3. Уменьшение уровня проникающей помехи путем размещения между антеннами САП импедансных структур.

4. Уменьшение уровня проникающей помехи путем размещения на части корпуса объекта покрытий, поглощающих электромагнитные волны.

Литература

1. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств / Под. ред. Н.М. Царькова. — М.: Радио и связь, 1985.
2. Актуальные вопросы исследования распространения радиоволн, электромагнитной совместимости, антенно-фидерных устройств радиосвязи и радиовещания. Кн. 2 / Под ред. И. Трошина. — М.: Радиотехника, 2004.
3. **Ямпольский В.Г., Фролов О.П.** Антенны и ЭМС. — М.: Радио и связь, 1983.
4. **Феоктистов Ю.А.** Теория и методы оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. — М.: Радио и связь, 1988.

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

МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЛУЧАТЕЛЯ ОДНОЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

Повсеместное использование параболических антенн в радиотехнических системах приводит к возрастающим требованиям к характеристикам их облучателей. Одним из распространенных вариантов облучателей является гофрированный рупор, поскольку он обладает хорошими поляризационными характеристиками и может работать в широком диапазоне частот. На практике для проверки уровня кроссполяризационной развязки измеряют диаграммы направленности облучателя в E и H-плоскостях и добиваются их равенства с приемлемой точностью за счёт некоторых изменений в конструкции рупора [1].

В работе ставится задача об оптимизации параметров облучателя для параболической антенны. В качестве исходной модели облучателя рассматривается упрощенный вариант гофрированного рупора с четырьмя канавками. Для нее проводится моделирование параметризованного рупора в среде HFSS, создание вариантов параметров в программе пакета MATLAB и анализ полученных диаграмм направленности для облучателя с целью оптимизации рупора по набору параметров, описывающих его конструкцию. Оценивается влияние отдельных параметров на коэффициент использования поверхности антенны, в результате выбирается вариант облучателя с максимальным значением коэффициента использования параболического зеркала. По полученным данным можно определить характеристики зеркальной антенны, облучаемой рупорной антенной: коэффициент направленного действия, оптимальный угол облучения и отношение фокусного расстояния параболы к диаметру зеркала.

Метод проектирования, представленный в работе, позволяет получить оптимальную конструкцию рупора для заданной рабочей частоты и угла облучения с помощью сравнительно несложных вычислений. Параметризация позволяет изменять конструкцию облучателя без необходимости перечерчивать сечение, упростить оценку влияния геометрии облучателя на его показатели качества и облегчить процедуру оптимизации, что делает возможным применение метода при массовом производстве антенн [2].

Литература

1. **Коган Б. Л.** Поляризационные характеристики антенн. М.: МЭИ, 2013.
2. **C. Granet, T.S. Bird.** “Optimization of axially-corrugated horns for symmetrical or offset parabolic reflectors”, Workshop on Applications of Radio Science (WARS’04), Hobart, Tasmania, 18-20 Feb. 2004, 6 pages.

А.Д. Захарова, студ.; рук. Е.С. Малевич, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОБНАРУЖЕНИЯ СКРЫТЫХ ОБЪЕКТОВ В ЛЕСНОЙ СРЕДЕ

Задача обнаружения скрытых объектов в лесной среде востребована в современном мире для специалистов различных областей деятельности: археология, строительство, военное дело и т.д. Известно, что наибольшую объективность информации обеспечивает комплексное применения контактных и неконтактных методов поиска скрытых объектов [1].

Предлагаемый метод [2] заключается в поиске объекта с использованием передающей антенны. Он позволяет при однократном контакте с объектом поиска определять его геометрические размеры и электрические свойства, что значительно повышает объективность получаемой информации и мобильность поиска.

Метод состоит в том, что первоначально находят соответствие полученных данных той или иной модели, а далее подбираются параметры модели, обеспечивающее наилучшее совпадение теоретических зависимостей с экспериментальными результатами. Сущность этих методов заключается в фиксации искажений внешнего электрического или магнитного поля, возникающих при обтекании током объекта поиска. Антенно-контактный метод обнаружения локальных объектов в укрывающих средах позволяет при однократном контакте с объектом поиска определять его геометрические размеры и электрические свойства. Физическая основа метода заключается в использовании объекта поиска, на период контакта, в качестве передающей антенны.

Предлагается использовать материалы из литературы [1], [2] для создания методики обнаружения скрытых объектов в лесу по отраженным сигналам при распространении электромагнитной волны в прямом направлении. Разработанная модель позволит решать вопросы безопасности и охраны в лесных зонах, где радиосигналы терпят серьезное затухание, и протяженность радиолинии, развернутой в пределах слоя стволов и листвы, достаточно небольшая.

Литература

1. **А.И. Баскаков, Т.С. Жутяева, Ю.И. Лукашенко.** Локационные методы исследования объектов и сред. М.: «Академия», 2011. — 384 с.
2. **Г.Н. Щербаков,** Обнаружение объектов в укрывающих средах. М.: Арбат-Информ, 1998. — 127 с.

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

МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЛУЧАТЕЛЯ ОДНОЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

В настоящее время зеркальные антенны широко используются в различных областях радиолокации, радионавигации, в системах спутниковой и беспроводной наземной связи. Для решения конкретного ряда задач применяются антенные зеркала с определенной геометрией. При этом для облучения зеркал с различной геометрией зачастую применяются одни и те же облучатели, что снижает показатели энергетической эффективности локационных систем.

В работе рассмотрен алгоритм синтеза облучателя однозеркальной антенны для заданного отношения F/D, где F – фокусное расстояние, D – диаметр раскрыва. Определены границы применимости и эффективность метода.

Синтез параметров облучателя осуществляется с позиции максимизации коэффициента использования поверхности (КИП) антенны во всем диапазоне рабочих частот при сохранении приемлемого уровня согласования антенны. При этом учитывается апертурный КИП, уровень переливания мощности за границы рефлектора и появление кроссполяризации.

Основой разработки метода является оптимизация параметров гофрированного осесимметричного рупорного облучателя, рассмотренного в [1].

Преимущества применения подобных структур давно известны [2]. С позиции расчетов данная конструкция позволяет производить гибкую оптимизацию практически без изменения габаритных размеров рупора за счет изменения внутренней геометрии, что позволяет обеспечить минимальное затенение поверхности раскрыва.

Использование облучателей, разработанных на основе данного метода должно повысить энергетическую эффективность работы существующих антенных систем.

Литература

1. **Granet, Christophe & Bird, Trevor.** Optimization of axially-corrugated horns for symmetrical or offset parabolic reflectors. 2004
2. **Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ**. Москва, Высшая школа, 1988.

Р.О. Ткаченко, студ.; рук. Е.С. Малевич, ст.преп. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ФРАКТАЛЬНОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕСНОЙ СРЕДЫ

В последнее время в связи с ростом интереса к расширению радиолиний различных назначений и увеличению покрытия сетями мобильной связи появилась необходимость подробнее исследовать влияние затухания радиосигналов в лесу на распространение электромагнитных волн [1, 2]. Для построения адекватной модели лесной среды с целью последующих расчетов по прогнозированию распространения радиоволн необходимо иметь параметры диэлектрической проницаемости и проводимости деревьев. Эти характеристики являются дисперсионными и зависят от множества факторов: тип леса, влажность, вид дерева, часть дерева и т.д.

Для определения эффективной диэлектрической проницаемости растительности используются различные теоретические подходы, которые обеспечивают хорошие результаты последующего моделирования распространения волн в лесной среде только в определенной полосе частот и для конкретного типа растительности.

В работе предлагается проектирование микрополосковой фрактальной антенны с использованием метаматериалов, с помощью которой будет осуществляться прием GPS и ГЛОНАСС сигналов, по задержке которых можно определить электрофизические параметры полога леса. Антенна должна обладать диаграммой направленности с широким лепестком в передней полуплоскости и минимизированным задним лепестком, чтобы избежать интерференции сигналов, отраженных от земной поверхности и посторонних объектов. Фрактальная антенна построена таким образом, чтобы работать в широкой полосе частот и обеспечивать в ней требуемый коэффициент стоячей волны.

Литература

1. **Volkova A.A, Malevich E.S., Mikhailov M.S.** Numerical Simulation of Radio Wave Propagation in a Forest Environment Using the Constructor of Individual Trees // 2019 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW), Divnomorskoe, Russia, 2019, pp. 360–363.
2. **Малевич Е.С., Михайлов М.С., Волкова А.А.** Сравнение результатов экспериментального исследования распространения радиоволн в лесу с численным моделированием // Материалы конференции «Всероссийские открытые Армандовские чтения» Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Муром-2019, стр. 187–195.

Секция 5.
РАДИОЛОКАЦИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Председатель секции — Комаров Алексей Александрович
Секретарь секции — Рубан Анна Викторовна

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

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГЕОРАДАРА, УСТАНОВЛЕННОГО НА БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ

В большинстве случаев георадарные съемки являются тяжелой работой и могут быть очень опасны для полевого персонала из-за суровых топографических и климатических условий. Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для разведки местности представляется перспективной разработкой по следующим причинам:

1. Относительно небольшая стоимость по сравнению с классическими воздушными судами;

2. Возможность точного программирования полета БПЛА;

3. Более безопасный подход к решению проблем для персонала и более экономичный по времени.

Недостатки современных георадаров состоят в том, что большинство из них обладают небольшой глубиной зондирования поверхности. Главное условие их функционирования для получения результатов — они должны вплотную прилегать к земной поверхности, что уменьшает площадь зондирования и увеличивает затраченное время на исследование местности [1].

В работе 1973 года была продемонстрирована возможность обнаружения и измерения глубины водоносных слоев с борта самолета. Для зондирования применялись импульсы длительностью 50 нс с центральной частотой спектра около 65 МГц, создаваемые ударным возбуждением. Глубина зондирования оказалась свыше 20 метров при высоте полета самолета 400 метров.

Современные достижения в области элементной базы позволяют разместить георадар на БПЛА с небольшой массой полезной нагрузкой (7–10 кг).

Неоспоримыми плюсами данной разработки будет являться то, что данный проект сможет применяться не только для определения залежей воды, а также для поиска полезных ископаемых, инспекции газопроводов, подземных пустот.

Литература

1. **Баскаков А.И.** Локационные методы исследования объектов и сред — М,: Издательский центр Академия, 2011.

В.И. Ряшенцева, студ., С.А. Серов, студ., В.В. Гребенникова, студ.,
Ю.А. Колесникова студ., Д.В. Филиппов, студ.,
Е.А. Медведева, студ.; рук. А.А.Комаров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В последнее время автомобильный радар миллиметрового диапазона привлекает внимание как усовершенствованная система помощи при вождении для предотвращения дорожно-транспортных происшествий. Автомобильный радиолокатор миллиметрового диапазона уже используется на практике в качестве транспортного средства, благодаря возможности определения относительной скорости между транспортными средствами путем измерения доплеровской частоты [1].

Такие радары используют сигналы с длинами волн в миллиметровом диапазоне. Поэтому для достижения хорошего бокового обзора требуется большая апертура антенны. Но, очевидно, что размер датчика ограничен из-за физических причин. Решение для преодоления этого ограничения — использование радара с синтезированной апертурой антенны, который последовательно обрабатывает сигналы, собранные во время движения транспортного средства.

Изображение, сгенерированное с использование радиолокатора с синтезированной апертурой антенны, имеет ряд преимуществ, главным образом связанных с использованием активного датчика (радара), который в отличие от традиционных систем формирования изображения, использующих пассивные датчики (камеры), не нуждается во внешнем освещении для получения изображения. Таким образом, система обеспечивает всепогодные измерения независимо от снега, тумана или дождя, к примеру. Дополнительно, новое концептуальное решение позволяет генерировать изображение, более похожее на реальную карту местности.

Для разработки автомобильного радара бокового обзора решены следующие задачи:

1) изучен метод обработки принятого сигнала системой с синтезированной апертурой антенны;

2) промоделирован алгоритм формирования карты местности;

3) изучен радар AWR1642BOOST, необходимый для прототипа устройства.

Литература

1. **Баскаков А.И.** «Локационные методы исследования объектов и сред» — М: Академия, 2011, с. 384.

А.В. Левашов, студ.; рук-ли А.А. Комаров, д.т.н., проф.;
С.А. Лунев, гл. специалист (АО «Концерн «Вега»)

ПРОВЕРКА ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ СПЕЦВЫЧИСЛИТЕЛЯ В РЕЖИМЕ САМОКОНТРОЛЯ

Одним из самых важных и наиболее сложных этапов при проектировании и изготовлении спецвычислителя для космического аппарата является проверка правильного функционирования устройства. Обычно это большой набор тестов, затрагивающий все функциональные части устройства. Эти тесты выполняются в режиме штатной работы в режиме самоконтроля. В данном режиме устройство самостоятельно оценивает свою работоспособность. Кроме этого, осуществляется проверка спецвычислителя на контрольном оборудовании в процессе изготовления. При этом контрольное оборудование при проектировании может получиться очень сложным, сопоставимым по трудности разработки со спецвычислителем. Поэтому то, насколько тщательной будет проверка, решает разработчик или это указывается в техническом задании.

В составе любого спецвычислителя присутствует оперативная память [1]. Для упрощения проверки оперативной памяти спецвычислителя при штатной работе и при изготовлении может использоваться режим самоконтроля.

Проверку оперативной памяти можно обеспечить с помощью различных тестов. При этом большее количество разнообразных тестов обеспечит более качественную проверку.

В данной работе для разработки проверки памяти спецвычислителя были решены следующие задачи:

1) рассмотрена память, которая используется в спецвычислителе;

2) выполнен обзор существующих тестов памяти;

3) были выбраны три разных теста;

4) создана функциональная схема необходимой программной конфигурации программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) [2] для проверки оперативной памяти в режиме самоконтроля;

5) разработан файл конфигурации для ПЛИС в системе автоматизированного проектирования (САПР) QUARTUSII.

Литература

1. **Техническая документация** IS61WV102416BLL (http://www.issi.com)
2. **Матюшин О.Т.** Архитектура и функционирование ПЛИС: Учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2003. — 32с. (УДК 621.398 М353)

П.А Лебедев, студент; рук-ли Ю.П. Волошин (ОАО ВНИИРТ),
Р. Н. Ипанов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗОНЫ ОБЗОРА РЛС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАТОРА ЦЕЛЕЙ

Зона обзора является одной из важнейших тактико-технических характеристик (ТТХ) РЛС и описывает область пространства, в которой возможно получение радиолокационной информации с заданным качеством — разрешающей способностью, однозначностью и точностью измеряемых координат целей. Зона обзора РЛС обеспечивается сканированием пространства по азимуту, углу места и дальности и задаётся в ТТХ интервалами сканирования. На основании требований к зоне обзора на этапе проектирования синтезируются пространственно-временные сигналы для обзора пространства и формируются требования к устройствам, выполняющие сканирование пространства.

Реализуемая зона обзора РЛС также зависит от качества формирования, излучения, приёма, методов обработки сигналов и измерения координат. Оценка зоны обзора в ходе натурного эксперимента является материально затратными мероприятием и не всегда позволяет исследовать её в полной мере. Поэтому рассматривается оценка зоны обзора методом полунатурного моделирования.

В докладе рассматривается метод экспериментальной оценки зоны обзора с использованием имитатора сигналов целей, приводится схема эксперимента. Для исследования границ зоны обзора особое внимание уделяется построению трасс целей, формированию по ним сигналов и обработки полученных координатных точек с целью реконструкции зоны обзора РЛС.

Литература

1. **Ширман Я.Д.** Теоретические основы радиолокации. М.: Советское радио, 1970.
2. **Бондаренко Б.Ф.** Основы построения РЛС РТВ. Киев: КВИРТУ ПВО, 1987.
3. **Mark A. Richards, James A. Scheer, William A. Holm.** Principles of Modern Radar Vol. I: Basic Principles, 2010 by SciTech Publishing.

С.А. Воронцова, асп.; рук. М.Н. Пиганов, д.т.н., проф.
(Самарский университет-НИУ, г. Самара)

МЕТОД РАСЧЕТА РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДВУХПОЗИЦИОННОЙ РСА

Известный метод расчёта величины разрешения двухпозиционной спутниковой радиолокационной станции с синтезированием апертуры (РСА) использующий концепцию градиента [1] не подходит для самолётных РСА. Это связано с тем, что при расчёте величины элемента разрешения учитывается величина и направление векторов градиента наклонной дальности и градиента частоты Доплера только в одной точке, а не для всех точек на протяжении элемента разрешения. В рамках концепции градиента предлагается новый метод, устраняющий основной недостаток известного. Он основан на вычислении координат вектора разрешения по азимуту через сумму координат образующих его векторов, направления которых совпадают с направлением векторов градиента частоты Доплера в точках с координатами начала этих векторов.

Длина, то есть модуль каждого из векторов, составляющих суммарный вектор разрешения по азимуту $\rho_{аз.}=\rho_{доп.}+\rho_{аз.1}+\ldots\rho_{аз.n}$, соответствует обратно пропорциональной количеству векторов (n) доле (1/n) от изменения частоты Доплера $\Delta f_{доп.}=1/T_c$, приходящегося на величину элемента разрешения по азимуту, T_c — время синтезирования.

Получены формулы для определения составляющих суммарного вектора разрешения по азимуту. Проведен анализ влияющих факторов.

Установлено следующее: при увеличении поперечной составляющей базы наблюдается улучшение разрешающей способности по азимуту на участке с более высокой разрешающей способностью, чем у однопозиционной системы, и ухудшение на участке с более низкой разрешающей способностью, чем у однопозиционной системы.

Длину вектора разрешения по дальности предлагается определять как минимальное значение функции расстояния D(x) между заданной точкой $P(x_0; y_0)$ на линии равных дальностей и другой линией равных дальностей, ограничивающих элемент разрешения по дальности:

$$D(x) = \sqrt{((x_0 - x)^2 - (y_0 - y(x))^2)^2}\,,$$

где y(x) — значение функции линии равных дальностей в точке с координатой x.

Литература

1. **Krieger G., Fiedler H., Hounam D.** Analysis of system concepts for Bi- and Multi-Static SAR missions // IGARSS. 2003. №. 2. P. 770–772.
2. **Бакулев П.А.** Радиолокационные системы. — М: Радиотехника, 2004. 320с.

Н.Х. Гюльмагомедов, асп.; рук. Ю.И. Лукашенко, к.т.н., проф. (НИУ МЭИ)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДАЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ ПРИ ТЕПЛОВОМ НАГРЕВЕ ОБТЕКАТЕЛЯ

В данной статье рассмотрено влияние воздействия внешних факторов на характеристики радиопрозрачного обтекателя антенны радиолокационной станции. Приведена методика теоретического расчета дальности действия радиолокационной станции при тепловом воздействии на обтекатель. Разработанная методика связывает дальность действия радиолокационной станции с шумовыми характеристиками и активными потерями в обтекателе, возникающие при нагреве.

С целью выявления закономерностей изменения радиотехнических характеристик обтекателя при нагреве были проведены углубленные теоретические исследования параметров материалов для радиопрозрачных обтекателей. Выведены формулы, позволяющие рассчитать изменение шумовых характеристик и активных потерь, возникающих при нагреве обтекателя.

Анализ полученных теоретических результатов показал, что нагрев обтекателя приводит к изменению диэлектрических характеристик материала. Вследствие чего, происходит увеличение затухания и отражения электромагнитной волны при прохождении стенки обтекателя. В частности, изменение диэлектрической проницаемости приводит к изменению оптимальной толщины стенки по критерию максимального коэффициента прохождения. Увеличение тангенса угла диэлектрических потерь приводит к увеличению затухания электромагнитной волны при прохождении стенки обтекателя [4].

Проведенный, с помощью вышеописанной методики, расчет показал, что дальность РЛС, при равномерном нагреве монолитного остроконечного обтекателя с полуволновой толщиной стенки, существенно зависит от температуры обтекателя и снижается с ее увеличением.

Литература

1. **М.Я. Воронин, И.Н. Карманов, А.В. Кошелев, М.Ф. Носков, И.В. Лесных, И.Д. Миценко, О.К. Ушаков.** Физика нагрева СВЧ-диэлектриков летательных аппаратов и их защита: монография // Новосибирск: СГГА, 2008, 156 с.
2. **А.И. Баскаков, Т.С. Жутяева, Ю.И. Лукашенко.** Локационные методы исследования объектов и сред: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования// М.: Издательский центр «Академия», 2011, 384 с.
3. **В.А. Каплун.** Обтекатели антенн СВЧ (Расчет и проектирование) // Москва, «Советское радио», 1974, 240 с.

Секция 6.
КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель секции — Скорнякова Надежда Михайловна
Секретарь секции — Сычёв Дмитрий Геннадьевич

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

ИССЛЕДОВАНИЕ АБЕРРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРУПНОГАБАРИТНОГО АВТОКОЛЛИМАТОРА

Крупногабаритный автоколлиматор построен на базе объектива «Телегоир-12МК» и предназначен для измерения основных характеристик широкопольных светосильных объективов. Фокальный узел автоколлиматора имеет два канала: измерительный и контрольный.

Поскольку автоколлиматор является измерительным прибором, его характеристики должны быть не хуже характеристик испытуемых объективов. Обеспечить изображение высокого качества можно, если каждая из составных частей автоколлиматора будет вносить минимально возможные аберрации. Второй способ — рассчитать оптическую систему фокального узла таким образом, чтобы аберрации фокального узла и объектива коллиматора взаимно компенсировали друг друга.

Целью работы является исследование аберрационных характеристик измерительного канала автоколлиматора в режиме фокусировки автоколлиматора с помощью плоского контрольного зеркала. Моделирование автоколлиматора было выполнено в пакете прикладных программ Aber Lite. Оптическая схема и основные характеристики автоколлиматора приведены в [1]. Расчёт был выполнен для четырех источников излучения: LED 525L, LED 591E, LED 631E, LED 680L [2].

Для анализа аберрационных характеристик полученной системы в сборе схема также была дополнена одним из испытуемых на автоколлиматоре объективов — широкопольный астрономический фотографический объектив Сова-25.

В результате исследования получено, что минимальные значения сферической аберраций получаются для схемы без испытуемого объектива, что говорит о высоком качестве изображения, даваемого автоколлиматором. Для системы в сборе с испытуемым объективом аберрации возрастают, но не превышают величины остаточных аберраций для объектива Сова-25 на основной длине волны 635 нм, поэтому можно считать, что остаточные аберрации автоколлиматора находятся в допустимых пределах.

Литература

1. **Мацюк А.С.** Выпускная работа бакалавра «Моделирование фокального узла для автоколлиматора на основе объектива «Телегоир»», М.: НИУ МЭИ, 2018.
2. Каталог фирмы Thorlabs, раздел Лазерные диоды без оправы. Режим доступа: https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=2814&pn. Дата обращения: 30.11.2019.

П.О. Лукахин, студ.; рук. И.Н. Павлов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО РЕФРАКЦИОННОГО МЕТОДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ КАПЛИ, ЛЕЖАЩЕЙ НА ПОДЛОЖКЕ

Актуальность измерения параметров капли, лежащей на подложке, объясняется большим количеством применений, в которых используется капля жидкости (производство наноструктур, создание структурированных поверхностей, медицинская диагностика, полиграфия).

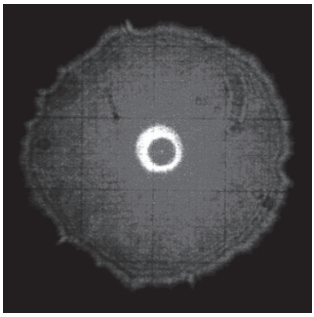


Рис. 1. Рефракционное изображение капли

В данной работе для измерения такого параметра капли, как краевой угол смачивания, использовался лазерный рефракционный метод. Суть метода состоит в том, что широкий коллимированный лазерный пучок, диаметром чуть больше, чем диаметр капли, проходит через нее вертикально вверх. Так как капля является, по сути, жидкостной линзой, излучение преломляется и на экране образуется рефракционное изображение капли. Особенность получаемого в экспериментах изображения состоит в том, что его контур имеет характерную форму, состоящую из определенного количества криволинейных участков с разными радиусами кривизны (рис. 1).

Для реализации метода была собрана экспериментальная установка, позволяющая проводить измерения краевого угла смачивания от момента нанесения капли на подложку до полного ее испарения. Проведен эксперимент с каплями объемом 5,10,15 мкл и стеклянными подложками с шероховатостями поверхности 6 нм и 7 мкм. Были получены рефракционные изображения, которые были обработаны с помощью оригинальной программы, и получены зависимости краевого угла смачивания от времени. Экспериментально установлено, что количество и размер вогнутостей (см. рис. 1) зависит не только от свойств жидкости, но и от свойств подложки, в частности, от ее шероховатости и степени ее чистоты.

Литература

1. **Евтихиева О.А.** Лазерная рефрактография / Евтихиева О.А., Расковская И.Л., Ринкевичюс Б.С. — М: Физматлит, 2008. — 176 с. — ISBN 978-5-9221-1044-0
2. **Павлов И.Н., Расковская И.Л., Толкачев А. В.** Структура микрорельефа поверхности испаряющейся с шероховатой подожки капли как возможная причина гистерезиса краевого угла // ЖЭТФ, 2017, том 151, вып. 4, с. 670–681.

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

РАЗРАБОТКА ДВУХЗЕРКАЛЬНОГО ОБЪЕКТИВА ДЛЯ ПИРОМЕТРА СПЕКТРАЛЬНОГО ОТНОШЕНИЯ

Пирометр спектрального отношения, для которого разрабатывается объектив, позволяет измерять температуру пламени в диапазоне 1000–2500 К [1]. Моделирование выполнено для трех длин волн: 0,98 мкм; 1,38 мкм; 1,48 мкм [2]. Объектив должен обеспечивать увеличение 0,05, числовая апертура не должна превышать 0,2, расстояние наведения 1000 мм.

Для работы в ИК диапазоне лучше использовать зеркальный объектив, так как он свободен от хроматических аберраций. В данной работе рассмотрены возможности двухзеркальных систем типа Кассегрена, Мерсенна, Грегори, а также были исследованы зависимости коэффициента центрального экранирования от выноса фокальной плоскости относительно рабочей поверхности первичного зеркала. Для одного и того же коэффициента центрального экранирования, система типа Кассегрена дает больший вынос фокальной плоскости, чем система Грегори.

Далее в работе были рассмотрены две модификации системы Кассегрена: концентрическая и с равными радиусами зеркал. Была выбрана концентрическая система, поскольку в ней минимальный вынос фокальной плоскости обеспечивается при меньшем коэффициенте центрального экранирования по сравнению со схемой с равными радиусами.

В результате исследования были получены конструктивные параметры двухзеркального концетрического объектива типа Кассегрена, обеспечивающего заданные требования и достаточный вынос фокальной плоскости при минимально возможном коэффициенте центрального экранирования.

Полученные результаты могут быть использованы при модификации оптической системы пирометра, так как разработанный объектив позволяет обеспечить ввод излучения в одиночное волокно. Схема объектива может быть дополнена механизмом перемещения вторичного зеркала для того, чтобы при изменении расстояния наведения не происходило смещения плоскости изображения.

Литература

1. **Поройков А.Ю., Фланден В.С., Лапицкий К.М.** Томографическая система измерения локальных температур пламени с помощью пирометра спектрального отношения // Приборы и техника эксперимента. 2019. №1. с. 110–116.
2. **Мацюк А.С., Печинская О.В.** Моделирование оптической системы пирометра спектрального отношения в САПР ZEMAX // Оптические методы исследования потоков: Труды XV Международной научно-технической конференции, 24–28 июня 2019. — М.: Издательство «Перо», 2019. — с.193–204.

М.А. Макашов, Д.А. Макашов; Е.В. Шматко, студ.;
рук. А.Л. Соколов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОСТРАНСТВЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

В настоящее время актуальной задачей космической отрасли является получение изображений, даваемых оптической системой, на которых аберрации сведены к минимуму. Для ее решения, до ввода изделий в эксплуатацию проводятся испытания, на которых должны быть подтверждены расчетные значения основных параметров объектива, к которым относятся такие, как рабочий спектральный диапазон, угловое поле, пространственно-энергетические характеристики.

Одним из пространственно-энергетических параметров является концентрация энергии, приходящаяся на определенную площадь матрицы штатного приемника астрономического объектива. Задача по определению концентрации энергии в световом пятне относительно малого размера достаточно часто встречается при оценке качества различных объективов и является их аттестационной характеристикой [1].

В рамках данной работы исследование проводилось для широкопольного астрономического объектива Сова-5, технические характеристики которого представлены ниже:

- фокусное расстояние 99,83 мм;
- угловое поле зрения 40°;
- относительное отверстие 1:2,05;
- диапазон рабочих длин волн 500–900 нм.

Основным критерием оценки качества данного объектива является концентрация энергии, приходящаяся на кружок диаметром 24 мкм, значение которой должно быть не менее 80%.

Алгоритм позволяет устранить большую часть шумов на изображениях, регистрируемых с помощью данного объектива, что дает возможность сделать более качественную оценку параметра концентрации энергии.

Будут представлены полученные результаты расчета параметра концентрации энергии с помощью математического алгоритма, а также выдвинуты предложения по усовершенствованию алгоритма контроля качества объектива.

Литература

1. **Кирилловский В.К.** Оптические измерения. Часть 4. Оценка качества оптического изображения и измерение его характеристик. СПб: СПбГУ ИТМО, 2005.

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ КРЫЛА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Авиационная техника на протяжении всего существования быстро развивается. Поэтому для эффективной и быстрой разработки новых летательных аппаратов и их ввода в эксплуатацию необходимо постоянно совершенствовать методы, как конструирования, так и проведения испытаний этих аппаратов, в том числе полетных [1].

Одним из важных параметров, измерение которых проводится в полетных испытаниях, является деформация аэродинамических поверхностей летательных аппаратов.

Современный оптический метод, такой как метод корреляции фоновых изображений [2], позволяет проводить измерения 3D деформаций с помощью цифровой обработки изображений, полученных с применением двух видеокамер. Данный метод основан на алгоритмах метода анемометрии по изображению частиц [3]. Полученные данные о взаимном расположении камер, позволяют восстановить из двух двухмерных полей двухмерных векторов одно двухмерное поле трехмерных векторов, характеризующее 3D деформацию исследуемой поверхности.

В работе будет представлена экспериментальная установка для регистрации изображений деформаций крыла летательного аппарата. Установка состоит из одноплатного компьютера с двумя видеокамерами, датчиков для регистрации параметров полета. Исследования деформаций аэродинамических поверхностей проводится с помощью разработанного автором программного обеспечения, позволяющего проводить измерения удаленно, с их автономной регистрацией во время моделирования полетов.

Исследования такого рода помогут успешно проводить измерения прочностных характеристик летательного аппарата в процессе настоящих полетных испытаний. Что позволит увеличить срок эксплуатации летательных аппаратов.

Литература

1. **Boden F.** et al. In-flight measurements of propeller blade deformation on a VUT100 cobra aeroplane using a co-rotating camera system // Measurement Science and Technology. 2016. Vol. 27. №. 7. P. 074013.
2. **Poroikov A.Yu.**, Skornyakova N.M. An analysis of the image pattern correlation technique for measuring the bending of a metal surface // Measurement technique, Vol. 53, №10, 2011. Pp. 1147-1151.
3. **Raffel M.**, Willert C., Kompenhans J. Particle image Velocimetry. A practical guide. Second edition. Springer: Berlin. 2007. 448 p.

Ш.Ш. Усманова, студ.; рук. Н.М. Скорнякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНЫХ ПЛОСКОСТЕЙ НА ВИЗУАЛИЗАЦИЮ ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ ПОТОКА

Мультицветная анемометрия по изображению частиц (МАИЧ) представляет собой перспективный метод диагностики и визуализации потоков. Отличие данной методики от существующих модификаций АИЧ заключается в возможности измерения векторного поля скоростей потока одновременно в трёх плоскостях. Для этого в качестве источника освещения исследуемого потока применяется набор трех RGB лазерных плоскостей [1]. Также реализация подобной методики на практике не требует дорогостоящего оборудования, и проста с технической точки зрения. МАИЧ может найти широкое применение для решения задач в области гидродинамики и аэрогидродинамики, визуализации быстропротекающих процессов, исследования сложных вихревых структур.

Однако метод требует значительной доработки с целью уменьшения погрешности измерений, а также автоматизации самого процесса проведения эксперимента. На погрешность МАИЧ измерений может влиять ряд следующих факторов: длины волн лазерных плоскостей; расстояние между ними, их толщина и интенсивность. Поэтому исследование влияния параметров лазерных плоскостей на погрешность метода МАИЧ является актуальной задачей.

В результате работы, автором был выявлен характер влияния длин волн на точность МАИЧ измерений, осуществлен подбор модулей излучения для формирования лазерных плоскостей, при которых разделение изображения по цветовым каналам осуществлялось наилучшим образом. Результат проведенного исследования важен для разработки автоматизированного и мобильного оптико-электронного комплекса, который позволит производить измерения полей скоростей потоков [2].

Литература

1. **Баюн С.В., Скорнякова Н.М.** Исследование тепловых потоков методом мультицветной анемометрии по изображению частиц // Радиоэлектроника, электроника и энергетика: Двадцать вторая Междунар. науч.-техн. конф. Студентов и аспирантов: тез. докл. М.: Издательский дом МЭИ, 2016.
2. **Усманова Ш.Ш., Скорнякова Н.М**. Исследование объемных вихревых структур // Тепломассобмен и гидродинамика в закрученных потоках: . 7-я Всероссийская конференция с международным участием: тез. докл. Рыбинск: ООО «Цифровая типография», 2019. — 139 с.

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

ОБРАБОТКА ДВУМЕРНЫХ ПОЛЕЙ СКОРОСТЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОБЪЕМНЫХ КАРТИН ПОТОКА

В настоящее время используется множество оптических методов для исследований и диагностики в разных областях науки и техники [1]. Применимость каждого зависит от поставленной задачи, а также от дополнительных условий проводимого эксперимента. Метод анемометрии по изображениям частиц (АИЧ) широко применяется в исследовании газовых и жидкостных потоков. В одной из вариаций данного метода исследуемая область освещается структурированным лазерным излучением (лазерной плоскостью), а сама исследуемая область при этом засеяна рассеивающими частицами [2]. Но используя такой подход можно получить информацию о скорости потока не во всем объеме, а только в сечении исследуемой области.

В ходе исследования, описанной в статье [3] была собрана экспериментальная установка, в которой в качестве осветителя использовались параллельные друг другу лазерные плоскости, отличающиеся по длине волны. Такой выбор расположения плоскостей обоснован тем, что при проведении некоторых исследований расположение источников в пространстве ограничено. Например, исследуемая область находится в оптически непрозрачной камере, в которой сам поток возможно наблюдать только через два просмотровых окна, плоскости которых ортогональны.

Авторами данной работы была разработана и апробирована методика восстановления трехмерной картины по набору двухмерных плоскостей данных. Данное исследование направлено на создание алгоритма прогнозирования трехмерных данных о скорости исследуемого потока.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 19-0-00921 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.: Гидрометеоиздат, 1988.
2. **Современные** оптические методы исследования потоков: Коллективная монография / под ред. Б.С. Ринкевичюса. — М.: Оверлей, 2011.
3. **Усманова Ш.Ш., Скорнякова Н.М.** Исследование влияния длин волн лазерных плоскостей на точность МАИЧ измерений // Радиоэлектроника, электроника и энергетика: Двадцать шестая Междунар. науч.-техн. конф. Студентов и аспирантов: тез. докл., 2020.

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

ДИАГНОСТИКА ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ПОТОКА В ДВИГАТЕЛЯХ БЕСКОНТАКТНЫМИ МЕТОДАМИ

Целью данной работы является разработка бесконтактного метода диагностики вращающегося срыва и пульсирующего потока, применительно к лопастным агрегатам и различным энергоустановкам. Вращающийся срыв и пульсирующий поток — это вредоносные явления, возникающие в проточной части энергоустановок, которые ведут к ухудшению динамических характеристик агрегатов или, если вовремя не принять меры, то и вовсе к выходу конструкций из строя. Будет приведен сравнительный анализ существующих решений диагностики подобных вредоносных явлений [1, 2].

В докладе будет представлен метод, позволяющий достоверно визуализировать жидкостную модель пульсирующего или вращающегося потока. По полученным результатам возможно проследить динамику развития и появления отрывных режимов работы агрегата, представленного макетом. Задача осложняется тем, что при таких условиях работы, потоки имеют вихревую природу. Для определения параметров таких потоков необходимо применять специализированные методики обработки получаемых изображений. На рисунке 1 представлено векторное распределение скоростей частиц, полученное в результате обработки кадра с вихревым потоком.

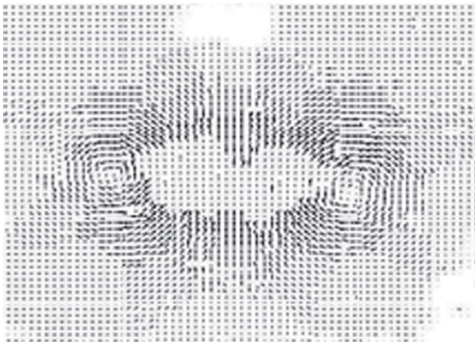


Рис. 1. Векторное распределение скоростей частиц

Список литературы

1. **Mizuki S., Hattori T., Ariga I., Watanabe I.**, Paper No. 76- GT-86.
2. **Н.В. Соколов, М.Б. Хадиев, М.Н. Серазутдинов**. Вестник Казанского технологического университета, 15, 16, 151–153 (2012).

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

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И СРАВНЕНИЕ ОБТЕКАНИЯ ШЕРОХОВАТЫХ И ГЛАДКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В настоящее время проводятся различные аэродинамические исследования, направленные на определение влияния структуры поверхности на обтекающий ее поток воздуха. Можно выделить ряд исследований в этой области, которые проводятся для решения одной из актуальных и практически значимых задач аэродинамики, состоящей в изучении влияния на поток воздуха, которое оказывают на него обтекаемые им поверхности, имеющие шероховатую структуру с различными характеристиками. Результаты подобных исследований показывают, что структура поверхности оказывает влияние на характер обтекающего ее потока воздуха. В связи с данным фактом существует предположение о возможности контролировать поведение потока воздуха с помощью обтекаемой данным потоком поверхности специальной структуры, параметры которой будут определяться для решения конкретной задачи.

Многие подобные аэродинамические исследования проводились в основном с помощью различных контактных методов исследований, поэтому применение оптических методов позволит получить новую информацию о процессе обтекания шероховатых поверхностей потоком воздуха. В данной работе используется метод Particle image velocimetry (PIV) [1, 2].

Векторные поля скорости потока, полученные путем обработки экспериментальных изображений, позволяют определить изменения характера потока при изменении параметров структуры поверхности, которую данный поток обтекает. Рассматриваются гладкая и шероховатые поверхности с различной степенью шероховатости. Проводится сравнение экспериментальных результатов с результатами математического моделирования обтекания подобных шероховатых поверхностей путем построения зависимостей скорости потока от координаты в одном сечении над поверхностью образца.

Литература

1. **M. Raffel et al.** Particle Image Velocimetry. A Practical Guide – 3rd edition. — Springer International Publishing, 2018. — 669 p.
2. **Бильский А.В. [и др.]** Применение методов цифровой трассерной визуализации для диагностики турбулентного пограничного слоя // Теплофизика и аэромеханика. — 2012. — Т. 19 — № 4.

А.В. Шашкина, студ.; рук. Н.М. Скорнякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВИХРЕЙ МАРАНГОНИ ПРИ ИСПАРЕНИИ ЖИДКОСТИ

Целью исследования является визуализация потоков Марангони, которые появляются при испарении жидкости с миллиструктурированной пластины.

Интерес к исследованию процесса испарения жидкости связан с его широким распространением в различных научных, технологических процессах и устройствах, которые применяются в системах охлаждения, микроэлектронной промышленности, а также при производстве структурированных материалов и поверхностей [1, 2]. В настоящее время активно исследуется возможность практического применения эффекта Марангони для интенсификации охлаждения поверхностей.

Особый интерес при исследовании испарения жидкости с горизонтальной подложки представляют бесконтактные методы исследования потоков. Наиболее простым в реализации методом визуализации является микротеневой фоновый метод [3]. Метод микроанемометрии по изображениям частиц является несколько более сложным, но позволяющим получить более наглядную картину [4].

В работе представлено исследование испарения различных жидкостей и их смесей со структурированных пластин синусоидального профиля с различными параметрами; получены картины визуализации процесса испарения жидкости с применением теневого фонового метода; проведена кросскорреляционная обработка изображений, полученных при испарении жидкости для построения векторного поля изменения градиента показателя преломления при термокапиллярной и концентрационнокапиллярной конвекции.

Литература

1. **Терехов В.И., Шишкин Н.Е.** Испарение капель воды с углеродными нанотрубками. Письма в ЖТФ. 2012. Т.38. Вып.1. С.51–57.
2. **Шашкова И.А.** Разработка оптико-электронного комплекса диагностики процесса испарения жидкости. Дисс. … к.т.н., МЭИ — М.: 2015.
3. **Скорнякова Н.М.** Теневой фоновый метод и его применения — Современные оптические методы исследования потоков. — М.: Оверлей, 2011. — с. 93–105.
4. **Particle Image Velocimetry. A Practical Guide** / Raffel, M., Willert, C.E., Scarano, F., Kähler, C., Wereley, S.T., Kompenhans, J. Springer. 2018. ISBN 978-3-319-68852-7.

Е.Э. Тимофеева, студ; рук. П.Г. Зверев, д.ф.м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ САМОТУШЕНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ИОНОВ Nd^{3+} С УРОВНЯ $^4F_{3/2}$ В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ Gd_3BWO_9: Nd^{3+}

Работа является шагом в широком теоретическом и экспериментальном исследовании механизмов тушения примесной люминесценции ионов в диэлектрических кристаллах и наночастицах.

Проведено моделирование кинетики тушения люминесценции ионов Nd^{3+} с уровня $^4F_{3/2}$ с учетом механизмов статического тушения и миграции энергии электронных возбуждений по ионам донорам Nd^{3+} в поликристаллических Gd_3BWO_9: x at% Nd^{3+} ($x = 0.1 – 8.7$), полученных по стандартной керамической технологии при 1100 °C. Расчет кинетики тушения проводился по новой методике [1], основанной на ф-ле (1) [2, 3]:

$$N(t)=e^{-a^2t}(a-b)^{-1}[ae^{a^2t}\,\mathrm{erfc}(a\sqrt{t})-be^{b^2t}\,\mathrm{erfc}(b\sqrt{t})] \quad (1)$$

где параметры a и b выражаются через концентрацию ρ люминесцирующей примеси (ионов Nd^{3+}) и микропараметры элементарных взаимодействий C_{DA} и C_{DD}, характеризующих соответственно механизм кросс-релаксационного самотушения ионов Nd^{3+} ($^4F_{3/2}\rightarrow{}^4I_{15/2}$, $^4I_{9/2}\rightarrow{}^4I_{15/2}$) и миграции электронного возбуждения по ионам Nd^{3+} ($^4F_{3/2}\rightarrow{}^4I_{9/2}$, $^4I_{9/2}\rightarrow{}^4F_{3/2}$). При $C_{DA} = 0.42$ нм^6/мс и $C_{DD} = 3.31$ нм^6/мс получено (Рис. 1) отличное совпадение измеренной при $T = 300$ K и рассчитанной (1) кинетики самотушения люминесценции для всей концентрационной серии Gd_3BWO_9: Nd^{3+}. Моделированием (1) уточнены концентрации примесных ионов Nd^{3+} во всех Gd_3BWO_9: Nd^{3+}.

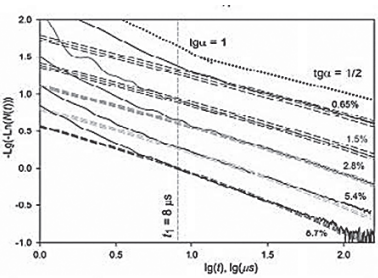


Рис. 1. Кинетика примесного самотушения в специфических координатах в зависимости от концентрации ионов Nd^{3+} в Gd_3BWO_9: Nd^{3+} (штриховые линии — рассчитанная (1) кинетика, непрерывные линии — измеренная кинетика тушения люминесценции ионов Nd^{3+} с уровня $^4F_{3/2}$.

Благодарности: Работа поддержана РФФИ (проект № 18-08-01206), РНФ (№16-12-10077). Автор благодарит сотрудников ИОФ РАН Попова А.В., Ю.В. Орловского, ИХК СО РАН С.Г. Федоренко, ИОНХ РАН В.А. Крутько.

Литература

1. **Fedorenko S.G., Popov A.V., Vagapova E.A., Baranchikov A.E., Orlovskii Yu.V.** J. Lumin., 198 (2018) 138–145.
2. **Бодунов Е.Н., Малышев В.А.** Опт. Спектр., 62 (1987) 1280–1286.
3. **Сакун В.П.** Хим. Физ., 6 (1987) 1032–1037.

М.С. Семибратова, студ.; рук. А. Л. Соколов, д.т.н., проф. (НИУ«МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ ДИФРАКЦИОННОЙ ТОЧКИ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ОБЪЕКТИВА ГИДА

В современном мире одной из основных проблем является загрязнение космического пространства, которое не только может помешать дальнейшему освоению космоса, но и нанести вред уже запущенным космическим аппаратам [1].

С целью предотвращения столкновений частей космического мусора с орбитальными космическими аппаратами и слежения за их траекторией реализуется программа по созданию квантово-оптических систем, а также оптико-электронных комплексов обзора космического пространства, расположение и количество которых в дальнейшем позволяет производить обзор всей небесной сферы.

В рамках данной работы особое внимание будет уделено проверке качества опытного образца объектива гида видимого диапазона (ВД), созданного в рамках Федеральной Космической Программы, и планирующегося установить на Лазерный Инфракрасный Комплекс (ЛИК), входящий в состав Наземной Оптико-Лазерной Станции (НОЛС) на территории Алтайского Оптико-Лазерного Центра им. Г.С. Титова (АОЛЦ).

В программном обеспечении *ZEMAX* было проведено моделирование объектива гида видимого диапазона — вспомогательного телескопа, работающего в видимом спектральном диапазоне, предназначенного для ведения телескопа за наблюдаемым объектом.

Основные конструктивные характеристики объектива гида ВД:

- Фокусное расстояние — 1250 мм;
- Диаметр входного зрачка — 250 мм;
- Интегральный коэффициент пропускания — 60 %;
- Относительное отверстие: 1:5.

После юстировки изготовленного образца на экспериментальной установке для контроля качества будет проведён сравнительный анализ результатов характеристик, таких как диаграмма пятна рассеяния, фокусное расстояние, а также распределение концентрации энергии, полученных экспериментальным путём с помощью установки и рассчитанных по итогам моделирования математической модели объектива гида ВД в среде *ZEMAX*.

Литература

1. **Пикалов Р.С.** Обзор и выбор средств увода крупногабаритного космического мусора // Труды МАИ. 2018. № 100.

А.В. Кучменко, студ.; В.В. Кучменко, асс.;
рук. Н.М. Скорнякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРОВ КАПЕЛЬ ЖИДКОСТИ В СПРЕЕ

На сегодняшний день различные виды форсунок активно используются в промышленности, например, для охлаждения атомных реакторов. Понижение температуры блоков атомных станций осуществляется с помощью мелкодисперсного распыления потока жидкости. Для разработки разных видов форсунок важным параметром является распределение капель жидкости в спрее по диаметрам. Для решения данной задачи возможно применение бесконтактных оптических методов, позволяющих выполнять измерения без внесения возмущений в исследуемый поток.

В данной работе представлен разработанный авторами оптико-электронный комплекс, основанный одновременно на двух методах: прямотеневом и лазерным интерференционным.

Прямотеневой метод [1] является широко распространенным и известным с давних пор. Его принцип основан на регистрации тени частиц на фоне некогерентного источника света. С использованием калибровочной фотографии производится преобразование пиксельных значений диаметров в физический размер.

Более современным является лазерный интерференционный метод (ЛИМ). В основе ЛИМ лежит способ определения диаметров капель по интерференционным картинам. Излучение от полупроводникового лазерного модуля (луч или лазерная плоскость) засвечивает поток капель от распылителя. Для получения необходимых данных регистрация изображений производится при немного расфокусированном изображении, которое представляет собой интерференционную картину (окружность с набором интерференционных полос внутри). Затем по измеренному периоду интерференционной картины определяется диаметр капель. Было проведено сравнение результатов, полученных этими методами, и выявлено совпадение значений диаметров в пределах погрешности.

В докладе будут представлены примеры теневых и лазерных интерференционных картин, а также сравнение полученных результатов.

Литература

1. **Васильев Л. А.** Теневые методы. Изд. Наука, 1968, 408 с.
2. **Михалев А.С., Ринкевичюс Б.С., Скорнякова Н.М.** Лазерный интерференционный метод определения параметров пузырьков газа // Метрология. 2009. Т.52. № 9. С. 924–930.

К.П. Галстян (НИУ «МЭИ»), Е.В. Вильшанская (НИУ «МЭИ»), аспирант;
рук. Б.Б. Зеленер, д.ф.-м.н. (ОИВТ РАН, НИЯУ «МИФИ», НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ АТОМНОГО ОБЛАКА ^{40}Ca В МАГНИТООПТИЧЕСКОЙ ЛОВУШКЕ

Одним из методов исследования ультрахолодных ридберговских атомов и неидеальной плазмы является захват атомов в магнитооптическую ловушку. В работе [1] описана магнитооптическая ловушка для исследования облака атомов кальция-40, которая работает на переходе $4s^2\ ^1S_0 \rightarrow 4s4p\ ^1P_1$ при охлаждающем излучении 423 нм и излучении накачки 672 нм. Посредствам решения системы скоростных уравнений было определено время жизни атомов кальция в магнитооптической ловушке, которое составило 58 мс. Также получены значения заселенностей уровней кальция-40 и общее число атомов, участвующих в цикле охлаждения.

При помощи метода резонансного поглощения получено пространственное распределение концентрации атомов. С помощью метода баллистического разлета атомов построены зависимости пиковой концентрации облака и диаметра облака от времени разлета. Так же рассчитана температура атомного ансамбля, которая составила ~ 5 мК. В работах [2, 3] приведен расчет температуры атомов кальция методом дифференциальной двухфотонной спектроскопии, где были получены схожие результаты.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-32-90197).

Литература

1. **Зеленер Б.Б. и др**. Измерение энергий ридберговских переходов в n $^1S_0$ состояния и порога ионизации атомов ^{40}Ca //Письма в ЖЭТФ. — 2019. — Т. 110. — вып. 12. — С. 767–771.
2. **Бобров А. А. и др**. Измерение температуры оптически охлаждённых атомов кальция с использованием метода дифференциальной двухфотонной спектроскопии // Доклады Академии наук. — Федеральное государственное бюджетное учреждение» Российская академия наук», 2019. — Т. 485. — №. 3. — С. 281–284.
3. **Sautenkov V. A. et al.** Differential two-photon spectroscopy for nondestructive temperature measurements of cold light atoms in a magneto-optical trap //JOSA B. — 2018. — Т. 35. — №. 7. — С. 1546-1551.

Д.А. Пояцыка, асп.; рук. Н. М. Скорнякова, доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРЕДЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТОДА ТЕНЕВОЙ АНЕМОМЕТРИИ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ ЧАСТИЦ

Цель данной работы — это теоретическое описание и оценка возможности улучшения предельных характеристик нового метода теневой анемометрии по изображениям частиц (ТАИЧ) [1]. В ТАИЧ используется излучение от маломощных источников (например, светодиодов), направленное по прямой линии на матрицу камеры. Этот метод используется при изучении оптически прозрачных сред, содержащих различные структурные неоднородности, которыми могут быть какие-либо мелкие объекты (частицы, пузырьки воздуха и т.п.).

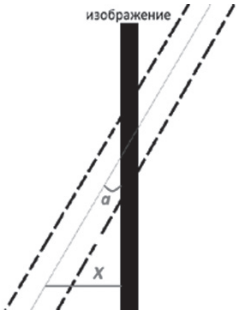


Рис. 1. Схематическое изображение плоскости фокусировки с использованием адаптера Шаймпфлюга

В настоящее время использование данного метода ограничено размерами формирующего тень объекта. Предельно допустимая величина такого объекта составляет 7 мкм. В данной работе рассматривается идея разрешения более мелких частиц с помощью поворота плоскости фокусировки видеокамеры (рис. 1). Поворот плоскости фокусировки относительно оси объектива на известный угол достигается при использовании адаптера Шаймпфлюга.

Предполагается, что тень от частиц на границе резкой области вытянется и примет не круглую, а овальную форму, что позволит использовать такие частицы для обработки результатов измерений методом ТАИЧ. И в дальнейшем, зная параметры оптической системы, можно будет найти характеристики исследуемой среды с лучшим разрешением, так как будет использоваться большее количество информативных объектов [2].

В докладе будут представлены результаты анализа изображений в комплексе на основе теневой анемометрии по изображениям частиц. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что подход с использованием адаптера Шаймпфлюга позволяет улучшить предельные характеристики метода засчёт разрешения частиц меньшего размера.

Список литературы

1. **Estevadeordal J, Goss L** PIV with LED: Particle Shadow Velocimetry (PSV) 43rd AIAA Aerospace Sciences Meetingand Exhibit, Meeting Papers, pp 12355–12364. USA, 2005.
2. **Дубовик А. С., Апенко М. И.** Прикладная оптика М.: «Недра», 1982.

Н.В. Морозов. (НИУ «МЭИ»): студент; Д.А. Кудринский (НИЯУ «МИФИ»): студент; С.А. Саакян, к.ф.-м.н. (ОИВТ РАН, НИУ «ВШЭ»); рук. Б.Б. Зеленер, д.ф.-м.н. (ОИВТ РАН, НИЯУ «МИФИ», НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ РИДБЕРГОВСКИХ АТОМОВ И УЛЬТРАХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ В МАГНИТООПТИЧЕСКОЙ ЛОВУШКЕ ДЛЯ АТОМОВ ЛИТИЯ-7

Лазерное охлаждение и пленение нейтральных атомов в магнитооптической ловушке (МОЛ) является наиболее распространенным методом получения атомных ансамблей при температуре ниже 10^{-3} K. Особый интерес представляют исследования высоковозбужденных (ридберговских) атомов, создаваемых МОЛ в связи с их применением в задачах квантовой информатики [1,2].

В настоящей работе была исследована динамика возбуждения холодных атомов лития-7, захваченных в магнитооптическую ловушку [3], в высоковозбужденные ридберговские состояния и ультрахолодную плазму.

По полученным экспериментальным данным построена модель, описывающая временную зависимость концентрации и количества ридберговских атомов в МОЛ в зависимости от мощности и частоты излучения, возбуждающего ридберговские атомы и плазму.

Показано, что в такой системе при плотности атомов порядка $5{\cdot}10^{10}$см$^{-3}$ возможно наблюдение эффекта ридберговской блокады, наличие которой меняет скорость возбуждения атомов в ридберговские состояния. Проведены предварительные исследования эволюции высоковозбужденных атомов в ультрахолодную плазму.

Литература:

1. **Ryabtsev I. I. et al**. Spectroscopy of cold rubidium Rydberg atoms for applications in quantum information //Physics-Uspekhi. — 2016. — Т. 59. — №. 2. — С. 196.
2. **Saffman M., Walker T. G., Mølmer K.** Quantum information with Rydberg atoms // Reviews of Modern Physics. — 2010. — Т. 82. — №. 3. — С. 2313.
3. **Zelener B.B. et al.** Preparation of a high concentration of lithium-7 atoms in a magneto-optical trap //Journal of Experimental and Theoretical Physics. — 2014. — Т. 119. — №. 5. — С. 795–801.

Секция 7.
ФОТОНИКА

Председатель секции — Попов Олег Алексеевич
Секретарь секции — Савицкая Анна Германовна

В.Б.Глухенькая, асп.; рук. А.А.Шерченков, д.т.н., проф. (НИУ «МИЭТ», Москва)

ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ СТРУКТУРЫ Al/ITO/$Ge_2Sb_2Te_5$ ДЛЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ДИСПЛЕЕВ

Оптические тонкопленочные дисплеи широко используются в различных портативных устройствах беспроводной и носимой электроники. Пиксельные TFT-матрицы, используемые в современных дисплейных технологиях (LED, OLED) обладают низкой скоростью переключения (~ 2 мс) и потребляют электроэнергию для отображения информации, поэтому создание энергонезависимого дисплея является актуальной научно-практической задачей, позволяющей снизить энергопотребление и расширить область применения.

Принципиально новые дисплеи могут быть спроектированы на основе многослойных структур, включающих слои тонких пленок материала $Ge_2Sb_2Te_5$, активно применяющегося для создания элементов интегральной оптики и оптических устройств фазовой памяти [1]. Основным достоинством материала $Ge_2Sb_2Te_5$ является высокая скорость кристаллизации (<50 нс), инициированной термическим или импульсным электрическим/лазерным воздействиями, сопровождающимися существенным изменением оптических параметров в видимом диапазоне ($n_{кр.}$–$n_{ам.}$=1; $k_{кр.}$– $k_{ам.}$=3 при λ=800 нм). После прекращения энергетического воздействия тонкие пленки $Ge_2Sb_2Te_5$ сохраняют фазовое состояние.

В настоящей работе исследованы многослойные структуры Al/ITO/$Ge_2Sb_2Te_5$ и влияние фазового состояния $Ge_2Sb_2Te_5$ на их оптические параметры. Тонкие пленки Al (100 нм), ITO (t нм, где t = 50, 100 и 150 нм) и $Ge_2Sb_2Te_5$ (7 нм) формировались методом магнетронного распыления материалов мишени. Толщины осаждаемых слоев были выбраны по результатам анализа научно-технической литературы и математического моделирования спектров показателей преломления и коэффициента экстинкции, определенных методом эллипсометрии в интервале длин волн от 350 до 1050 нм. Изменение фазового состояния $Ge_2Sb_2Te_5$ проводилось за счет термообработки.

Полученные результаты показали, что переход $Ge_2Sb_2Te_5$ из аморфного состояния в кристаллическое (fcc), обеспечивает возможность управления оттенком исследуемой многослойной структуры, при этом выявлено, что толщина ITO определяет цвет структуры, что может быть использовано для создания полноцветной энергонезависимой пиксельной RGB-матрицы.

Литература

1. **M. Wuttig et al.**, *Nat. Photon.*, 11, 465476 (2017).

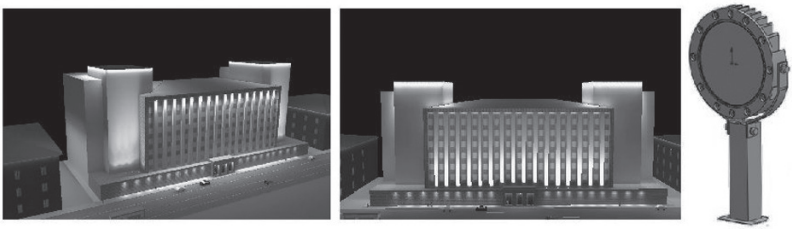
И.О. Колесникова, студ.; рук. Е.С. Ошуркова, ассистент (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА ДЛЯ АРХИТЕКТУРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

С развитием современных полупроводниковых технологий в преобладающем количестве проектов используются светодиодные источники света. Это связано как с их светотехническими и электрическими характеристиками, так и с конструктивными и эксплуатационными. Использование вторичной оптики для светодиодов дает возможность формирования требуемого светораспределения и позволяет реализовать множество различных способов освещения архитектуры. Так как правильная организация освещения способна сильно влиять на привлекательность зданий [1], то использование светильника, для которого возможен подбор линз для получения практически любого распределения света, дает возможность реализации достаточно большого количества световых решений с последующим выделением оптимальных вариантов.

В светильнике использовались белые светодиоды фирмы Nichia с $T_{цв}$ = 4000 К и R_a больше 80 [2] и было рассмотрено 2 образца линз фирмы Galad и 2 линзы фирмы Ledil. В результате расчета оптической части с помощью программы TracePro, были получены концентрированная и глубокая КСС.

Моделирование освещения объекта с полученными КСС, позволило сделать вывод о возможности реализации разных приемов освещения с их помощью, в частности, заливающего и локализованного света (Рис. 1). При этом все нормы наружного освещения будут выполняться.



а) б) в)

Рис. 1. Визуализация заливающего (а) и локализованного (б) приемов освещения при использовании светильника с выбранной оптикой (в)

Литература

1. **Щепетков Н.И.** Световой дизайн города. М.: «Архитектура-С», 2006. — 320 стр.
2. **СП** 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»

А.Н. Быханов, асп.; рук. А.С. Мачихин, д.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТООПТИЧЕСКОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЛИНЗЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

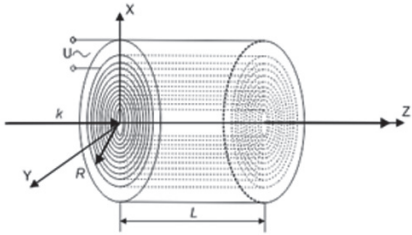


Рис. 1. Цилиндрическая АО ячейка

Одними из наиболее эффективных устройств для управления характеристиками оптического излучения являются акустооптические (АО), основанные на явлении дифракции света на решетках, созданных акустическим полем. Одним из направлений дальнейшего развития АО технологий является использование жидкостей в качестве рабочей среды АО взаимодействия. Технологичность и низкая стоимость изготовления таких АО ячеек позволяет создавать компактные и эффективные устройства для фокусировки излучения. Если стенки цилиндра изготовлены из пьезокерамики, тогда переменное напряжение, приложенное к ее электродам, вызывает вибрации, которые приводят к распределению акустического давления p внутри преобразователя.

Модуляция давления среды приводит к образованию в ней распределения показателя преломления:

$$n(r,t) = n_0 + \Delta n J_0(Kr)\cos(\omega t) \quad (1)$$

где $J_0(Kr)$ — функция Бесселя, K и ω – волновой вектор и угловая частота звука, n_0 — показатель преломления не возмущенной среды. Как показано в [1], при подаче постоянной частоты звука f такой компонент ведет себя по отношению к оптическому излучению с волновым вектором k как линза с оптической силой $\left(K^2 v/2k\right)\cos(\omega t)$, где v — параметр Рамана-Ната.

Таким образом вследствие эффекта фотоупругости возникают изменения диэлектрической проницаемости, и, следовательно, показателя преломления среды. При прохождении света через такую среду, возникает дифракция света.

Литература

1. **Grulkowski I., Kwiek P.** Experimental study of light diffraction by standing ultrasonic wave with cylindrical symmetry // Opt. Commun., 2006. V. 267. P. 14.

А.Д. Есикова, студ.; рук. Р.А. Делян, ассистент (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Цветопередача белых источников света (ИС) традиционно оценивается общим индексом цветопередачи Ra по методу CRI, принятому МКО [1], однако он оказывается неэффективен для белых светодиодов (СД). Для более достоверной оценки был разработан метод CQS [2]. Но, из-за того, что данный метод не учитывал тон и насыщенность цвета, ему не удалось стать полноценной заменой первому. Поэтому в августе 2015 года был разработан новый стандарт TM-30-15 [3], описывающий цветопередачу по двум параметрам.

Целью проведённой нами работы явился сравнительный анализ трёх вышеперечисленных методик с целью выявления их достоинств и недостатков, а также поиска наилучшего варианта для оценки качества цветопередачи белых СД.

В рамках данной работы нами был проведен вычислительный эксперимент: взяты 3 люминесцентных и 3 светодиодных ИС с одинаковой цветовой температурой. Для каждого источника был произведен расчет показателей цветопередачи по трем методикам. Полученные данные были сведены в общую таблицу и проанализированы.

Анализ результатов показал, что разброс значений индекса цветопередачи у СД минимален. Однако для полноценной оценки цветопередачи любого ИС недостаточно одного показателя. Необходимо также учитывать тон и насыщенность цвета. Метод TM-30-15 дает более обширную информацию о цветопередаче исследуемых образцов, были изучены перспективы использования получаемых по нему индексов. При анализе данных выявлена хорошая корреляция значения R_f (TM-30-15) с индексами R_a (CRI) и Qa (CQS), что доказывает, что метод оценки цветопередачи источника света IES TM–30–15 вполне успешно объединяет и систематизирует многочисленные усилия исследователей, полученные в течение нескольких лет.

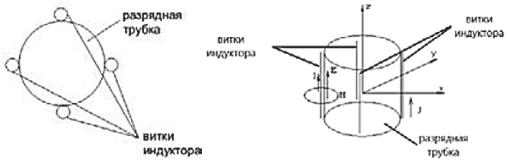
Литература

1. **CIE (2007), Colour rendering of white LED light sources**, Publication 177:2007, Vienna.
2. **W. Davis, Y. Ohno.** Development of a Color Quality Scale, Sixth International Lighting Research Symposium on Light and Color, 2006.
3. **IES** Method for Evaluating Light Source Color Rendition, Illuminating Engineering Society of North America, 2015.

С.А. Шилова, студ.; рук. О.А. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

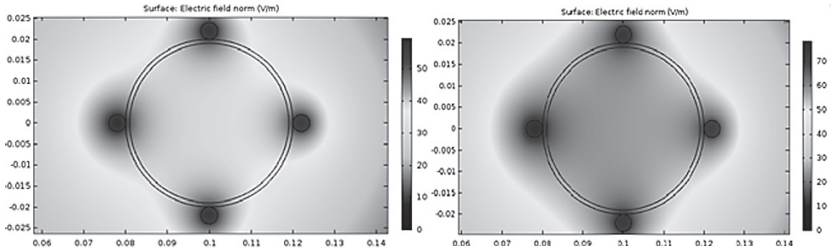
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЧ ПОЛЯ В ПЛАЗМЕ БЕСФЕРРИТНОГО ИНДУКЦИОННОГО РАЗРЯДА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ В ЗАМКНУТОЙ ТРУБКЕ

В работе исследуются бесферритные индукционные лампы низкого давления, в которых разряд возбуждается с помощью 4-х витковой катушки индуктивности, симметрично размещенной по периметру и сечению замкнутой разрядной трубки (рис. 1). Ожидается, что применение катушки с такой конфигурацией повысит КПД генерации УФ излучения ртутной плазмы низкого давления благодаря увеличению числа областей плазмы с повышенной напряженностью ВЧ электрического поля и повышению равномерности азимутального распределения ВЧ поля в плазме. Для моделирования индукционного разряда с симметричной катушкой индуктивности модифицирована предложенная в [1] электродинамическая модель индукционного разряда низкого давления. В рамках модели проведен расчет распределения напряженности электрического поля и объемной плотности мощности по сечению разрядной трубки для различных параметров катушки и плазмы (рис. 2).



a) b)

Рис. 1. a) конфигурация лампы (вид сверху); b) ориентация электрического и магнитного полей



a) b)

Рис. 2. Пространственное распределение модуля напряженности электрического поля. I = 6 A; f = 1.2 МГц; pHg = 7мТорр, ne,0 =5×10^{18} м$^{-3}$. a) pAr = 0.1 Торр; b) pAr = 1.0 Торр

Литература

1. **Свитнев С.А**. Эффективный источник УФ излучения на основе разряда низкого давления. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: 2012.

А.И. Старостин, студ.; рук. О.А. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ЭНЕРГИЯМ НА ГЕНЕРАЦИЮ РЕЗОНАНСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РТУТНОЙ ПЛАЗМЫ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

В работе исследуется влияния вида функции распределения электронов по энергиям на КПД генерации резонансного УФ излучения в результате прямого возбуждения уровня 6^3P_1 атома ртути электронами плазмы низкого давления. Проведен анализ результатов измерений расчетов сечения возбуждения уровня 6^3P_1, полученных в известных в литературе работах. Проведен с рядом допущений расчет удельного потока излучения на длине волны 254 нм, с использованием теоретических [1] и экспериментальных [2, 3] значений сечения возбуждения $6^1S_0 \rightarrow 6^3P_1$ для двух функций распределения электронов по энергиям: Максвелла и Панасюка [4]. На рис. 1 приведены результаты расчета КПД генерации излучения линии 254 нм, проведенного для ртутной плазмы в трубке (d = 5 см), в смеси паров ртути (0,8 Па) и аргона (300 Па) для токов, I = 2-8 А.

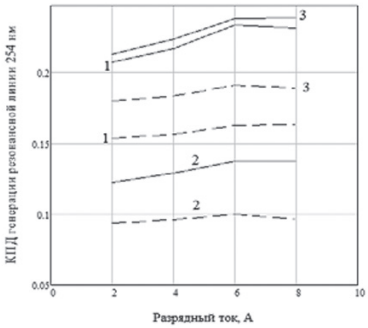


Рис. 1. Зависимость КПД генерации резонансной линии 254 нм от разрядного тока. I. Сплошные линии — распределение Максвелла, штриховые — Панасюка, 1 — экспер. (F.L. Arnot); 2 — теория (S.D. Rockwood), 3 — экспер. (G.F. Hanne).

Литература

1. **Rockwood S. D** Elastic and Inelastic Cross Sections for Electron-Hg Scattering from transport data //Phys.Rev. Volume 8. 1973. P. 326–327.
2. **Arnot F.L. Baines G.O.** Elastic and Inelastic Cross-Sections of Mercury Atom// Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical And Physical Sciences. Volume 151. 1935 г. P. 256–274.
3. **Hanne G.F.** What really happens in the Franck-Hertz experiment with mercury?// American Journal of Physics. 1980. P. 696–700.
4. **Панасюк Г.Ю.** Функция распределения электронов по энергиям// Вестн. ЛГУ. Сер. Физика, химия. 1983. С. 11.

Н.С. Епихов, студ., рук. П.А. Смирнов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВОСПРИЯТИЕ СВЕТЛОТЫ ОБЪЕКТОВ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ

В 60-е годы XX века Хироши Такасаки исследовал восприятие светлоты объекта на разном фоне [1]. В качестве объекта он взял серый квадрат из образцов атласа Манселла. Два одинаковых по размеру образца располагались на сером фоне разной яркости. Вследствие индуцирующего фона два одинаковых серых квадрата воспринимаются глазом по-разному. На темном фоне квадрат кажется светлее, на светлом фоне — темнее. Относительно левого квадрата менялся образец, до тех пор, пока не находился наиболее близкий по светлоте. Аналогично делалось для правого квадрата. Значения яркости наносили на график и в конце получили эмпирическую формулу для расчёта светлоты.

Автором было решено провести похожее исследование, но в других условиях. Эксперимент проводится на экране монитора, который, в отличие от образцов Такасаки, является самосветящей поверхностью, кроме того, перечень градаций яркости современного монитора значительно шире, нежели количество образцов атласа Манселла для оттенков серого, соответственно точность результатов должна повыситься.

Для реализации и автоматизации эксперимента была написана программа, позволяющая менять яркость фона, размеры квадратов и добавлять к квадратам контур. Программа демонстрирует квадраты со случайной яркостью, наблюдатель с помощью клавиатуры отмечает более тёмный квадрат. Далее по методу k-d дерева диапазон значений предъявляемой яркости сужается. После нескольких итераций квадраты начинают уравниваться. Таким образом получаются точки искомой зависимости, дальнейший выбор которых также производится автоматически на основе анализа перегибов.

На основе найденных точек строится график зависимости светлоты от яркости. Полученная эмпирическую формула может быть использована в компьютерной графике для перевода яркостного изображения в светлотное.

Литература

1. **H.Takasaki** Lightness Change of Grays Induced by Change in Reflectance of Gray Background, JOSA, 1965.

Секция 8.
ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель секции — Серегин Дмитрий Андреевич
Секретарь секции — Серегин Дмитрий Андреевич

Г.В. Рощупкин, асп.; М.А. Новиков, к.т.н.;
рук. Д.А. Шевцов, д.т.н., проф. МАИ, г. Москва

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ КАСКАДОВ DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ВЫСОКОМ ВХОДНОМ НАПРЯЖЕНИИ

При проектировании dc-dc преобразователя первостепенной задачей является выбор топологии силовой схемы. Топология схемы определяется на основании входных и выходных значений напряжений и токов, а также частоты коммутации и требований по энергетическим характеристикам проектируемого преобразователя. В ряде случаев нельзя найти однозначного решения в выборе топологии силовой схемы. Одним из таких случаев является большое значение питающего напряжения или двухполярное напряжение питания. В таком случае используют две базовые силовые схемы: мостовой dc-dc преобразователь с применением высоковольтных транзисторных ключей или многоуровневые dc-dc преобразователи с применением низковольтных транзисторных ключей. Выбор между этими двумя силовыми структурами определяется экономическими, аппаратными и энергетическими характеристиками.

В работе рассматривается принципы работы мостового и многоуровнего dc-dc преобразователя.

Проведен сравнительный анализ достоинств и недостатков мостового и многоуровнего dc-dc преобразователя при напряжении питания 800 В.

Проведен аналитический анализ энергетических характеристик мостового и многоуровнего dc-dc преобразователей в разных режимах работы.

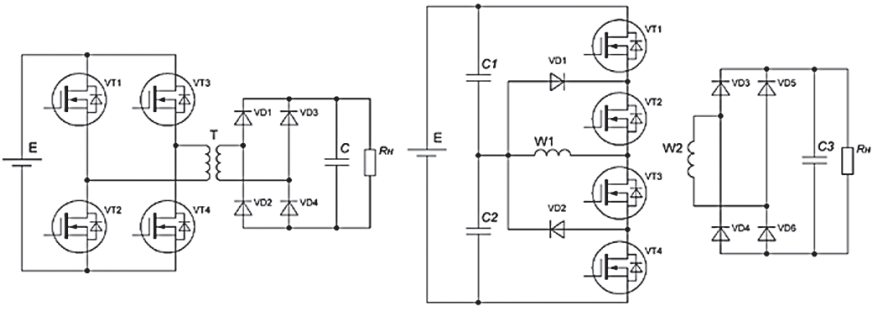


Рис. 1. Мостовой и многоуровневый dc-dc преобразователи

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

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОСТОВЫХ DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С РАЗЛИЧНОЙ ТОПОЛОГИЕЙ МАГНИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Существует множество различных топологий силовых схем DC–DC преобразователей. Выбор топологии схемы осуществляется в зависимости от поставленных задач. В ряде случаев одним из критериев выбора могут быть массогабаритные показатели и энергетические характеристики преобразователя.

В данной работе рассмотрены принципы работы двух силовых схем: двухтактный dc-dc преобразователь с трансформаторной развязкой и двухтрансформаторный dc-dc преобразователь.

В работе проведено сравнение их достоинств и недостатков, а также рассмотрены границы области применимости схем в зависимости от их выходных параметров с целью улучшения энергоэффективности преобразователей постоянного напряжения.

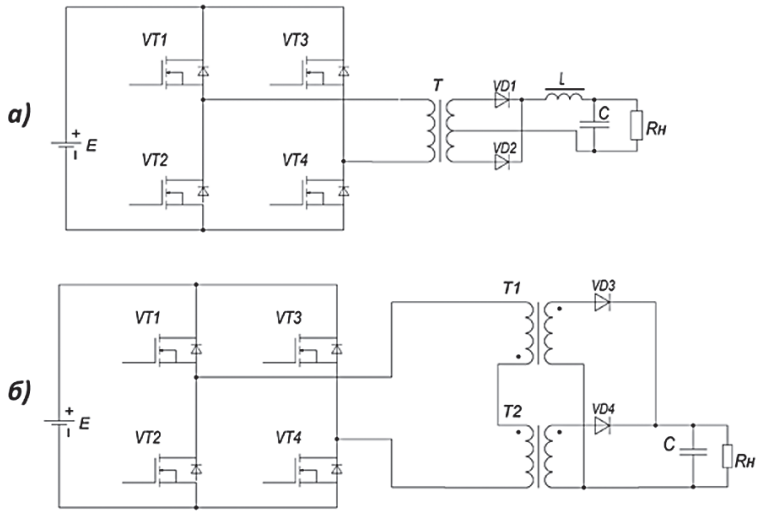


Рис. 1. Рассматриваемые в работе силовые схемы: а) Двухтактный преобразователь с трансформаторной развязкой б) двухтактный двухтрансформаторный преобразователь.

К.С. Клебек, студ; рук. А.Н. Рожков, к.т.н., ст. преп. (НИУ МЭИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОМПЕНСАТОРОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ ТИРИСТОРНО-ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ СХЕМ

Компенсаторы реактивной мощности (КРМ) являются одним из инструментов управления величиной реактивной мощности в линиях электропередач (ЛЭП). Современные КРМ позволяют управлять величиной и характером реактивной мощности в ЛЭП, а также напряжением в точке подключения к ЛЭП. Мероприятия по компенсации реактивной мощности позволяют:

1. уменьшить нагрузку на трансформаторы, что позволит увеличить срок их службы;
2. улучшить качество электроэнергии у электроприемников за счёт уменьшения искажения формы напряжения;
3. уменьшить нагрузку на коммутационную аппаратуру за счет снижения токов в цепях;
4. снизить расходы на электроэнергию.

Одним из перспективных типов КРМ являются компенсаторы на основе тиристорно-переключаемых схем [1]. Принцип действия подобных компенсаторов принципиально отличается от широко распространённых статических тиристорных компенсаторов (СТК). В рассматриваемых КРМ регулирование уровня генерируемой реактивной мощности достигается с помощью изменения эквивалентного реактивного сопротивления группы реактивных элементов (реакторов и/или конденсаторов), входящих в состав устройства, посредством тиристорного коммутатора, обеспечивающего широкий набор различных комбинаций подключения реактивных элементов к силовым входам устройства, включённым в электрическую сеть.

В докладе представлены результаты анализа различных схем реализации КРМ на основе тиристорно-переключаемых схем. Показаны способы управления компенсаторами, а также особенности работы схем при управлении реактивной мощностью. Приведенные в докладе достоинства и недостатки каждой из схем позволяют оценить степень необходимости реализации того или иного типа КРМ на основе тиристорно-переключаемых схем в конкретном месте установки.

Литература

1. **Dmitry I. Panfilov, Ahmed E. ElGebaly, Michael G. Astashev, Alexander N.Rozhkov,** “Performance Assessment of Thyristors Switched Capacitors during Reactive Power Compensation of Dynamic Load” X International Conference on Power Drives Systems (ICPDS2018), Novocherkassk, 03-06 october 2018. pp. 1–6

А.О. Подмастерьев, студ.; рук. А.А. Каткова,
ст. преп. (филиал МЭИ в г. Смоленске)

СОЗДАНИЕ МАКЕТА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛИЦЫ

Чтобы упростить уход за растениями, необходимо автоматизировать простые операции: полив, освещение, увлажнение воздуха, включение вентиляции. Специально для этого создан макет автоматизированной промышленной теплицы. Блок-схема устройства показана на рис. 1.

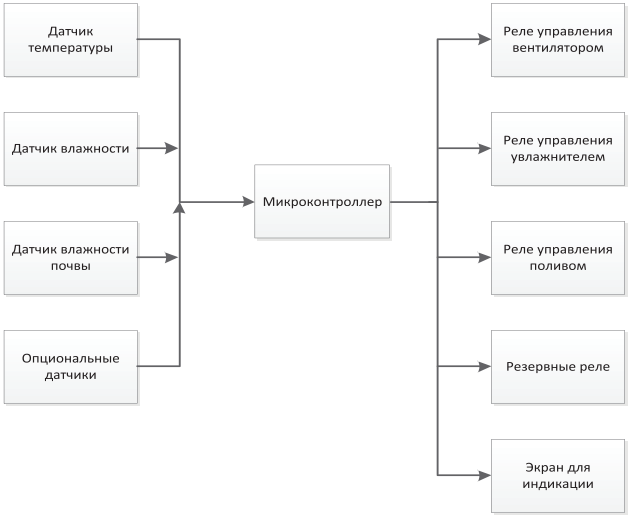


Рис. 1. Блок-схема макета автоматизированной теплицы

Датчик температуры — *DS18B20*. Интерфейс — *1-Wire*.
Датчик влажности — *BME280*. Интерфейс — *SPI*, *I2C*.
Датчик влажности почвы — аналоговый датчик на основе *LM393*.
Реле — китайские реле фирм *Songle* и *Tongling*.
Индикация — *LCD 2004*.
Микроконтроллер — *ATMega238p*.

Литература

1. **Ильинский, А.В.** Экологические основы природопользования Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2017.

Д.В. Мостовой, студ.; П.А. Рашитов, к.т.н., доцент (НИУ “МЭИ”)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 0,38кВ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ И ЧАСТНОГО СЕКТОРА

Вопрос о решении проблемы качества электроснабжения в четырехпроводных распределительных электрических сетях сельской местности и частного сектора остро встает в последние годы. Большие потери энергии и отклонения напряжения в фазах ниже допустимых ГОСТом обусловлены большой удаленностью потребителей от трансформаторных подстанций и не симметрии нагрузок. На сегодняшний день основным способом решения данной проблемы является применение бустера, который устанавливается на участке линии, где отклонения напряжения становятся ниже допустимых ГОСТом. Основной проблемой бустера является то, что для поддержания напряжения в одной из фаз на необходимом уровне, бустер потребляет дополнительную энергию из той же фазы. Из-за чего увеличиваются просадки напряжения до устройства (бустера).

Предлагается новый способ увеличения качества электроснабжения в распределительных сетях — это симметрирующее вольтодобавочное устройство. Для поддержания напряжения в одной из фаз на необходимом уровне, симметрирующее вольтодобавочное устройство берет энергию из всех трёх фаз, поэтому просадки напряжения до устройства становятся меньше.

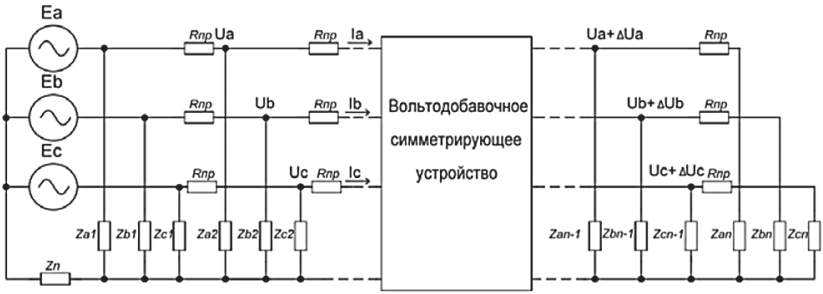


Рис. 1. Схема включения симметрирующего вольтодобавочного устройства.
Ia=Ib=Ic,Ua≠Ub≠Uc,(Ua+ΔUa)=(Ub+ΔUb)=(Uc+ΔUc).

В работе проводится сравнительный анализ трех устройств для увеличения качества электроэнергии в четырехпроводных сетях: бустер, симметрирующее вольтодобавочное устройство с возможностью рекуперировать энергию обратно в сеть и симметрирующее вольтодобавочное устройство без возможности рекуперации.

М.Д. Аникин, студ.; рук. П.А. Рашитов, к.т.н., доцент (МЭИ, г. Москва)

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОУРОВНЕВЫХ СХЕМ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ УСТРОЙСТВАХ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Для обеспечения надежной и эффективной работы электрических сетей необходимо решить проблему оптимального и гибкого управления потоками мощности. Правильное перераспределение потоков мощности позволит не только снизить потери и улучшить пропускную способность сети, но и повысить устойчивость работы компонентов электроэнергетической системы.

В настоящее время существует ряд распределенных устройств продольной компенсации, основанных на идее СТАТКОМ, позволяющих вводить в линию сопротивление, как ёмкостного, так и индуктивного характера. Такие устройства, как правило, основаны на инверторе с накопителем большой емкости, который формирует напряжение (вольтодобавку), пропорциональное величине вводимого сопротивления, со сдвигом +90° или –90° относительно тока линии.

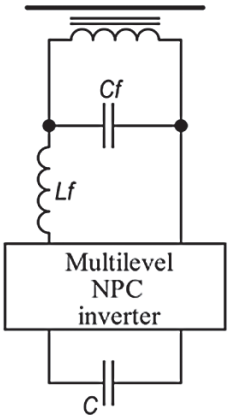


Рис. 1. РУПК на основе многоуровневого инвертора

Распределенные устройства продольной компенсации (РУПК) на базе СТАТКОМ могут, как иметь трансформатор, включенный в линию последовательно, так и быть бестрансформаторными. Недостатком бестрансформаторных РУПК является проблема выбора компонентов, рассчитанных на ток линии, так как он весь проходит через устройство. В случае с трансформаторным РУПК возникает необходимость создания значительных напряжений на вторичной стороне трансформатора для получения небольшой вольтодобавки на первичной стороне. Эту проблему можно решить с помощью применения многоуровневой схемы инвертора (рис 1.). Устройство такого типа применяет увеличенное число полупроводниковых ключей для снижения напряжения на каждом отдельно взятом ключевом элементе. В то же время предъявляются требования к построению систем управления, которые должны учитывать не только особенности управления РУПК, но и особенности управления многоуровневым инвертором.

О.И. Игнатьев, студент; рук. П.А. Рашитов, к.т.н., доцент (НИУ "МЭИ")

СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ С ТОКОВЫМ ОТБОРОМ МОЩНОСТИ

В настоящее время существует ряд устройств, которые устанавливается непосредственно на провод воздушной линии электропередачи (ВЛ). Для питания системы управления таких устройств требуется применение надежного источника питания. Один из способов реализации высокоэффективного источника питания с токовым отбором мощности представлен в статье [1]. Такая топология позволяет поддерживать выходное напряжение на постоянном уровне в широком диапазоне изменения тока ВЛ с высоким КПД.

В процессе работы система управления источником питания выполняет переключение транзисторами и электромагнитными реле. Переключение транзисторов необходимо для поддержания постоянного напряжения на выходе источника питания. Переключение реле позволяет изменять коэффициент трансформации для эффективного токового отбора мощности от провода ВЛ.

Эффективность работы источника питания зависит от алгоритмов работы системы управления. Для технической оценки эффективности работы разработаны несколько способов управления источником питания.

Одним из способов управления является измерение тока в линии, и в зависимости от значения производить переключение коэффициента трансформации. Для измерения тока в линии предложено три способа: прямое измерение тока с помощью дополнительного трансформатора тока и два косвенных по изменению выходного напряжения. В зависимости от способа измерения тока в линии зависит формирование импульсов управления транзисторами.

Другой способ управления реле осуществляется в зависимости из соотношения времени инжекции (выходное напряжение растет) и времени байпаса (выходное напряжение спадает). Переключение коэффициента трансформации производится с целью максимального увеличения времени инжекции по отношению к времени байпас с учетом коэффициента запаса, поскольку во время байпаса не происходит отбора мощности от тока ВЛ и возникают потери энергии в транзисторах и обмотке трансформатора.

Литература

1. **A.V. Gorchakov, P.A. Rashitov.** High-efficiency power supply for distributed flexible alternative current transmission system devices, 2019 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 14–15 March 2019.

А.А. Пентелейчук, студ.; рук. Дроздецкий С.В., асс. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НИЗКОВОЛЬТНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Светодиодное освещение набирает свою популярность, и при этом требует дешевых и безопасных решений для возможности конкурировать с массовым производством. Наиболее безопасным решением является перевод питающего напряжения в нижний диапазон, т.е. в пределах 50 В постоянного напряжения, так называемый диапазон SELV – Safety Extra Low Voltage[1]. Это позволяется минимизировать возможность получения электротравм при нарушении изоляции и косвенном прикосновении.

Данная разработка источника питания нацелена в первую очередь на применение в сфере специального освещения, например для декоративного или промышленного светильника. Требования, предъявляемые к разрабатываемому устройству, представлены ниже:

- питание от переменного напряжения 230 В, 50 Гц;
- коэффициент мощности > 0,9;
- выходное напряжение 12 В, мощность 10-30 Вт, что отвечаем требованиям SELV.

На рис. 1 приведена электрическая схема преобразователя, основанного на микросхеме MP4033 и имеющего гальваническую развязку через оптопару[2]. Таким образом, разрабатываемое устройство имеет высокую безопасность, практически полностью отвечающую требованиям, предъявляемым к изделиям подобного типа, и потенциально является основополагающей частью осветительной системы.

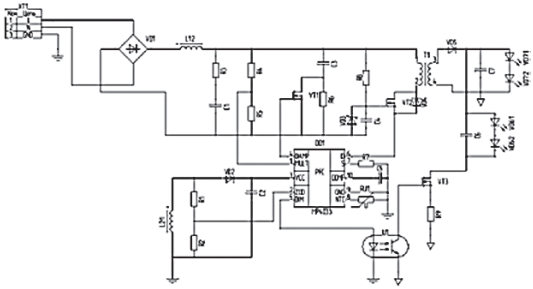


Рис. 1. Электрическая схема преобразователя напряжения

Литература

1. **Winder, S.** Power Supplies for LED Driving / S. Winder — Newnes, 2008. — 245 p.
2. **Мелешин В.И.** Транзисторная преобразовательная техника / В.И. Мелешин. — М.: Техносфера, 2005. — 632 с.

С.О. Митичкин, студ.; С.А. Образцов, к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ВЕДОМОГО УСТРОЙСТВА 1-WIRE

Шина 1-wire широко применяется в системах, где требуется минимизация сигнальных проводов, так как для работы данной шины требуется всего два провода сигнальный и общий.

В данной работе будут рассмотрены особенности реализации ведомого устройства шины 1-wire, а также будут даны рекомендации по реализации данной шины.

1-wire шина использует модель взаимодействия ведущий-ведомый.

Реализовать ведущие устройство можно несколькими способами: с помощью встроенного интерфейса UART или с помощью прямого управления выводами микроконтроллера. Реализация обоих вариантов ведущего устройства не вызывает значительных затруднений.

Реализовать ведомое устройство с применением каких-либо, встроенных в микроконтроллер интерфейсов не представляется возможным, это значит, что для реализации ведомого устройства можно использовать лишь непосредственное управление выводами микроконтроллера.

Основные затруднения при реализации ведомого устройства 1-wire возникают при передаче уникального кода. Для того чтобы передача прошла успешно необходимо быстро отреагировать на срез импульса, формируемого ведущим устройством. Чтобы решить поставленную задачу следует придерживаться следующих рекомендаций:

- максимально оптимизировать смену настроек выводов микроконтроллера с ввода на вывод (использовать прямое управление регистрами);
- заранее готовить бит информации к пересылке;
- максимально уменьшить паразитные емкости на линии передачи.

В ходе работы были указаны возможности реализации ведущего устройства и даны рекомендации по разработке ведомого устройства. Следование данным рекомендациям позволит значительно сэкономить время при реализации ведомого устройства 1-wire.

Литература

1. **Программная реализация протокола 1-wire (iButton, MicroLan) на микроконтроллерах AVR** [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://aterlux.ru/article/1wire
2. **Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р.** Алгоритмы: построение и анализ. М.: МЦМНО, 1999. — 960с.

Л.А. Серебрякова, студ.; И.И. Журавлев, асп.; рук.,
д.т.н., проф. Д.И. Панфилов (НИУ «МЭИ»)

MATLAB-МОДЕЛЬ МАЛОГАБАРИТНОГО УСТРОЙСТВА ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ, ПОСТРОЕННОГО НА ОСНОВЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Одной из технологий управления потоками мощности в электрических сетях является воздействие на их физические параметры. Это воздействие обеспечивается введением в линию электропередачи дополнительного регулируемого реактивного сопротивления. Устройства, обеспечивающие формирование дополнительного управляемого реактивного сопротивления, называются устройствами продольной компенсации (УПК). Обычно УПК представляют из себя батареи конденсаторов, включаемые последовательно в линии электропередачи [1].

Одной из задач, решаемых при разработке управляемых устройств продольной компенсации, является уменьшение их массогабаритных показателей, при сохранении широкого диапазона регулирования реактивного сопротивления.

В работе рассматриваются различные инновационные топологии построения схем управляемого малогабаритного устройства продольной компенсации (МУПК) на основе трансформатора с секционированной одной из его обмоток и тиристорного коммутатора [2].

Разработаны математические модели различных схем построения МУПК в среде Matlab/Simulink, позволяющие проводить анализ процессов в рассматриваемых схемах, отрабатывать алгоритмы управления тиристорным коммутатором и проводить сравнение характеристик МУПК, полученных аналитически и в результате математического имитационного моделирования.

Литература

1. **Рыжов Ю.П.** Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения. Учебник для вузов. — Изд. дом МЭИ, 2007.
2. **Dmitry I. Panfilov, Michael G. Astashev, Ivan I. Zhuravlev**, Distributed Series Impedance Devices Based on Controlled Transformer // 20th International 10.2018–02.2019 31 Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices June 29 — July 3, 2019, Novosibirsk, Russia.

Н.В. Синчинов, студ.; рук. М.А. Новиков, к.т.н. (НИУ МЭИ, Москва)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЛОКАЛИЗАЦИИ И КЛАССИФИКАЦИИ ЗАРЯДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛНОСВЯЗНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Главным элементом большинства современных технических устройств является аккумуляторная батарея питания (АКБ). Свинцово кислотные АКБ широко используются в промышленности, транспорте, телекоммуникациях и множестве других областей по всему миру [1]. Основными факторами, определяющими срок их службы, являются: химический состав и условия эксплуатации [2].

С целью мониторинга режимов эксплуатации, АКБ оборудуются специальными устройствами (логгерами), которые с определенной частотой измеряют напряжение на аккумуляторе и протекающий ток. Затем данные отправляются на устройство энергонезависимой памяти, формируя численный массив.

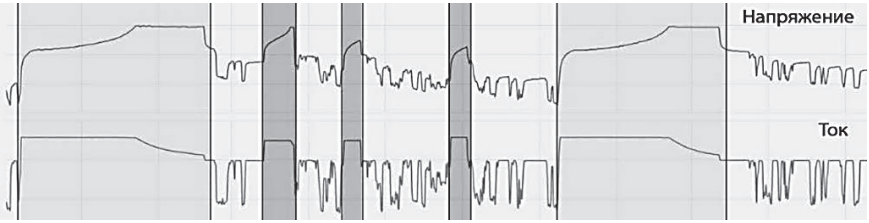


Рис. 1. Эксплуатационная характеристика АКБ с выделенными некорректными (темные области) и корректными (светлые) режимами заряда

Зачастую необходимо проанализировать данные за несколько месяцев и больше. В связи с этим возникает потребность в создании автоматического алгоритма локализации и классификации зарядных циклов. Важно, чтобы программа на его основе имела высокую скорость выполнения при ограниченных вычислительных возможностях.

В данной работе Представлен анализ нескольких архитектур нейросетей с различными гиперпараметрами. Представлен подход к априорной оценке времени, затрачиваемого на выполнение алгоритма.

Литература

1. **Fazel Mohammadi**, «Electric Vehicle Battery Market Analysis: Lead Acid // 9th ICEEE», August 28–29 2018.
2. **Rodolfo Dufo-Lopez, Juan M. Lujano-Rojas**, «Comparison of different lead — acid battery lifetime prediction models for use in simulation of stand-alone photovoltaic systems» // Applied Energy 15.02.2014, стр. 242–253.

В.В. Саранцев, студ.; рук. С.А. Образцов, к.т.н., доц.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)

RFID-СЧИТЫВАТЕЛЬ НА ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

В настоящее время произошло широкое распространение радиочастотной идентификации (*RFID*) в разных сферах жизни. Такие устройства включают в себя специализированные микросхемы, например *EM4095* [1]. Для большинства реальных применений микросхема обладает избыточной функциональностью, поэтому авторы предлагают заменить ее на схему на массовых дискретных элементах (рис. 1).

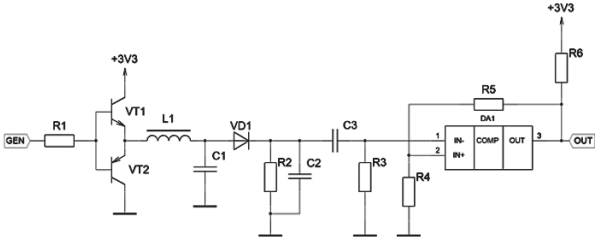


Рис. 1. Принципиальная схема

Сигнал прямоугольный формы подается на вход схемы с частотой 125 кГц, усиление сигнала по мощности происходит на VT1, VT2. Далее сигнал приходит на индуктивную антенну, которая входит в состав колебательного контура L1C1 (настроен на несущую частоту), излучает его и принимает отражённый от метки модулированный сигнал (рис. 2). Такой сигнал приходит на амплитудный детектор, выделяющий полезный сигнал, убираем постоянную составляющую с помощью фильтра верхних частот. Далее сигнал подается на триггер Шмитта, где преобразуется в манчестерский код (рис. 3), который декодируется на микроконтроллере.

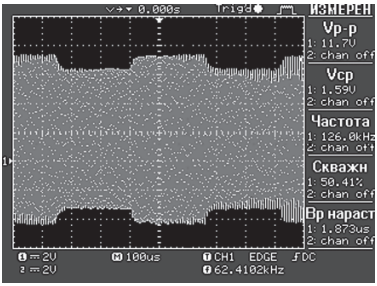


Рис. 2. Модулированный сигнал

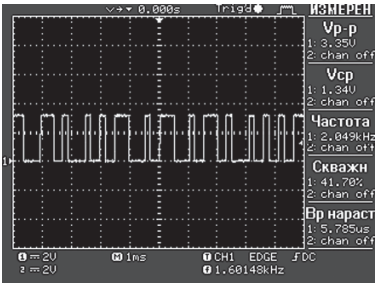


Рис. 3. Манчестерский код

Литература

1. EM4095. EM Microelectronic-Marin SA 4095-DS.doc, Version 4.2, 2013. — p. 11

А.В. Часов, студ.; рук. А.Н. Смирнов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА АКТИВНОЙ БАЛАНСИРОВКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛАНАРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Обеспечение сбалансированности ячеек является первостепенным и обязательным условием для сохранения высокой эффективности и работоспособности аккумуляторной батареи (АКБ). Это реализуется путем проектирования и разработки систем балансировки, способных обеспечить выравнивание уровня заряженности и осуществлять мониторинг состояния каждой ячейки АКБ, а также ряд других полезных функций.

Система активной балансировки, как правило, разрабатывается на базе высокочастотных преобразователей и ее эффективность зависит от топологии схемы, способов управления полупроводниковыми ключами и выбранных компонентов. Упор делается на достижение высокого коэффициента полезного действия и уменьшение размеров конечного устройства.

В работе рассматривается схема балансировочного модуля на основе двухтактного преобразователя с трансформаторными связями, как составляющая системы активной балансировки. Особенностью данного модуля является применение согласующего трансформатора с плоской обмоткой (планарная технология) [1]. Это позволяет сократить потери в преобразователе, снизить воздействие паразитных параметров, а также уменьшить габариты, массу и сечение проводов.

Был произведен аналитический расчет и моделирование данной системы в программах LTspice и Simulink. Учтены нелинейные параметры и коммутационные процессы. Предложены дополнительные схемотехнические решения и рассмотрены классические способы управления полупроводниковыми ключами, такие как ШИМ и ЧИМ.

В результате применения такой модернизированной системы достигается высокая эффективность использования АКБ.

Литература

1. **Мелешин В.И.** Транзисторная преобразовательная техника. — М.: Техносфера, 2005. — 121с.

К.А. Зинченко, маг., С.А. Амелин, рук., к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

КОНТАКТЫ РЕЛЕ. СХЕМЫ ДУГОГАШЕНИЯ

Довольно часто при коммутации мощных нагрузок отдается предпочтение использованию реле, нежели другим схемам коммутации. Однако у реле есть существенный минус, это — влияние дуговых разрядов на стабильность работы контактов реле.

Для уменьшения повреждения контактов дуговыми разрядами применяются:

- специальные реле с большими контактными промежутками;
- магнитный обдув контактов;
- искрогасящие цепи.

Если первые два метода применяются, как правило, при конструирование самого реле, то при разработке схемы с использованием не дорогого стандартного реле, в целях безопасности применяется третий метод.

На практике наибольшее распространение нашли следующие схемы:

- варисторы;
- RC-цепи;
- обратные диоды;
- схемы с использованием метода (варистор + RC-цепь).

Защитные цепи включаются:

- параллельно нагрузке;
- параллельно контактам реле;
- параллельно контактам и нагрузке одновременно.

Все выше приведенные типы и методы подключения схем дугогашения имеют как преимущества, так и недостатки.

Эффективность применяемых типов схем зависит от множества факторов, но наиболее значимыми являются:

- предъявленными габаритными требованиями;
- характером и мощностью коммутируемой нагрузки;
- типом электропитания.

Как показало исследование, максимальная эффективность достигается путем комбинирования разных типов схем.

Литература

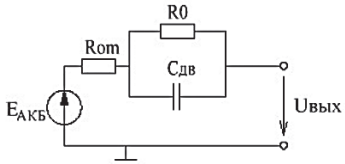
1. **Зинченко К.А., Амелин С.А.** Переферия современных блоков управления опорно-поворотных устройств // ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ — 2018 (микроэлектроника и оптотехника). Сб. трудов VIII -ой Межд. науч.-техн. конф. Т 2. — Смоленск «Универсум», 2018. — С. 11–13.

Р.К. Николин, студ.; рук. М.А. Новиков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ АКБ С ФОРМИРОВАНИЕМ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ ВЫБРАННОЙ СХЕМЫ

В наше время во всех схемах портативных устройств для питания используются химические источники тока (АКБ). Данные виды источников имеют свои правильные методики заряда, а также подвержены износу во время их эксплуатации и, как следствие, ухудшение их параметров. Для того чтобы лучше понять все эти процессы, был рассмотрен ряд схем замещения АКБ.

Выбор из всех эквивалентных схем был остановлен на схеме, представленной на рис.1. В нее входят омическое сопротивление источника тока $R_{ОМ}$, определяемое токоподводящими деталями электродов, их активными массами и сопротивлением электролита, емкость двойного электрического слоя $C_{дв}$, сопротивление переноса заряда через границу электрод/электролит R_0 и источник напряжения $E_{АКБ}$, изменяющийся линейно в зависимости от интеграла тока, подаваемого на выход АКБ и характеризуемый непосредственно самой реакцией электродов и электролита.



Были рассмотрены режимы работы АКБ и поведение его выходных характеристик при данных режимах работы. Был сформирован алгоритм расчёта параметров выбранной схемы из временных диаграмм работы АКБ. При расчёте параметров по таблице снятых данных с датчиков, расположенных на реальных АКБ, оказалось, что данные параметры изменяются во время эксплуатации в связи с некоторыми факторами. Этими факторами являются температура и уровень заряда (SOC). Износ также оказывает влияние на внутренние его параметры. Данные изменения параметров в процессе исследования были обоснованы.

Было произведено моделирование схемы с рассчитанными параметрами в программной среде Matlab Simulink. В сравнение к ней была промоделирована встроенная схема АКБ Matlab. Данная модель представляется в виде управляемого источника ЭДС, зависящего от интеграла тока и последовательно соединённого с ним резистора. Оказалось, что обе схемы имеют небольшие погрешности по сравнению с реальными данными. Данные погрешности не превышают 2,5%. Также стоит упомянуть, что поведение выходных параметров данных схем похожи на реальные данные, полученные с датчиков. Эти факты указывают на правильность выбора схемы замещения АКБ.

И.А. Иванова, В.А. Клауга, студенты; рук. В.А. Смолин, ст. преп. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БАЗОВЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

При разработке устройств, в которых используются логические элементы, важно знать их основные статические характеристики и параметры, для корректного использования. В связи с этим, актуальной задачей является разработка лабораторного стенда, который позволит студентам закрепить пройденный теоретический материал и получить необходимые практические навыки для работы с цифровыми устройствами.

Для получения основных статических параметров необходимо знать следующие характеристики логических вентилей:

- входную характеристику $I_{вх} = f(U_{вх})$;
- передаточную характеристику $U_{вых} = f(U_{вх})$;
- выходную характеристику $I_{вых} = f(U_{вых})$.[1]

Разрабатываемый стенд будет содержать:

- генератор входного сигнала для получения напряжения высокого U_1 и низкого U_0 уровней (Г1);
- генератор входного сигнала для получения пороговых напряжений высокого U_1 и низкого U_0 уровней (Г2);
- переключатели для генерации нужного цифрового сигнала;
- базовые логические элементы;
- выводы для подключения измерительных устройств.

Структурная схема разрабатываемого стенда показана на рисунке 1.

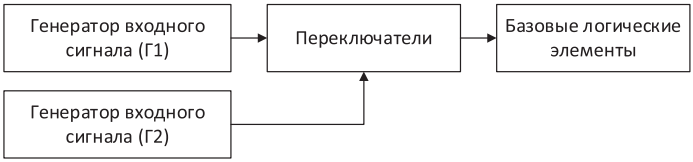


Рис. 1 Структурная схема разрабатываемого стенда

Таким образом, разработанный лабораторный стенд позволит студентам изучить основные статические характеристики и параметры базовых логических элементов, а также обрести практические навыки работы с оборудованием.

Литература

1. **Волович Г.И.** Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. 528 с. URL: https://serurvis.3dn.ru/skhema.pdf

О.И. Петрусев, А.О. Фомченков, студ.;
рук. С.А. Амелин, к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

ИЗМЕРЕНИЕ ЗАРЯДА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ С ИЗОЛИРОВАННЫМ ЗАТВОРОМ

При проектировании быстродействующих ключей обязателен учет паразитных параметров транзисторов, на которых они проектируются. В наибольшей степени на скорость переключения ключа влияют заряд переключения *Qпер* и паразитные емкости (в первую очередь емкость затвор-сток). Однако для ряда полевых транзисторов отечественного производства эти параметры не приводятся. Поэтому разработка аппаратных и программных средств для измерения заряда переключения является актуальной задачей.

Методы измерения заряда, анализ их преимуществ и недостатков рассмотрены в [1]. Согласно рекомендациям по измерению *Qпер*, функциональная схема в общем случае должна состоять из коммутируемого источника тока I_1 в цепи затвора и источника тока I_2 в цепи стока.

При классическом способе измерения *Qпер* нужно интегрировать ток затвора. Однако проще интегрировать постоянное напряжение, пропорциональное или числено равное величине этого тока. Сделать это можно добавив в схему аналоговый интегратор.

Эти же измерения можно выполнить, используя цифровое интегрирование при помощи микроконтроллера. Такой подход позволят получить проинтегрированный сигнал с высокой точностью, но при этом микроконтроллер (МК) должен обладать высоким быстродействием. Также можно оцифровать сигнал с помощью АЦП и подать на МК, который в свою очередь выполнит необходимые математические операции.

Таким образом, заряд затвора полевого транзистора можно измерить при помощи аналогового интегратора. Кроме того, этот заряд может быть измерен цифровым способом с использованием микроконтроллера, причем функциональная схема при этом практически не меняется.

Литература

1. **Петрусев О. И., Фомченков А. О., Амелин С. А**. Методы измерения заряда затвора полевого транзистора // 16-ая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Информационные технологии, энергетика и экономика», г. Смоленск, 25–26 апреля 2019 года: сб. трудов. / Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. — Смоленск, 2019. — Т.2.

А.О. Фомченков, И.В. Рыбаков, студенты;
рук. С.А. Амелин, к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАЗИТНОЙ ЁМКОСТИ МДП-ТРАНЗИСТОРОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

На данный момент на рынке электрорадиоизделий существует вероятность приобретения поддельных комплектующих, использование которых может привести к выводу из строя электронного устройства. В первую очередь это касается использования поддельных транзисторов большой мощности.

Максимальный допустимый ток транзистора зависит от площади кристалла. А площадь кристалла у МДП-транзисторов прямо пропорциональна входной емкости. Таким образом, измеряя входную емкость транзистора можно определить подделку. Типовые значения паразитных емкостей мощных МДП-транзисторов лежат в диапазоне от десятков пФ (емкость затвор-сток Сзс) до единиц нФ (ёмкость затвор-исток Сзи). Соответственно, в зависимости от номинала паразитной ёмкости выбор метода измерения может отличаться.

Самым простым методом измерения ёмкостей является метод вольтметра-амперметра. Он используется для измерения ёмкостей конденсаторов в диапазоне значений от 10 нФ до единиц Ф [1]. Погрешность измерений данным методом составляет 0,5 ÷ 10% и возрастают с увеличением частоты [2].

Также на практике используют мостовой метод измерения. Данный метод является точным и относительно медленным [3]. Если требуется измерить емкость с большим тангенсом tg $\delta > 0{,}01$, то используют мостовой метод измерения с параллельной схемой замещения [4].

Наиболее распространенный метод измерения ёмкости конденсатора в CDC-устройства заключается в применении зарядового усилителя.

Подводя итог, из рассмотренных выше методов лишь мостовой позволяет проводить измерения паразитных емкостей МОП-транзистора.

Литература

1. **Дивин А.Г.** Методы и средства измерений, испытаний и контроля. Тамбов: ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. — 104 с.
2. **Кузнецов В.А., Долгов В.А., Коневских В.М.** Измерение в электронике. М.: Энергоатомиздат, 1987. — 512 с.
3. **Дьяченко Ю.Н.** Конспект лекций по курсу «Аналоговые измерительные устройства». СПб.: СПбПУ, 2014. — 172 с.
4. ГОСТР51317.4.7-2008. Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств [Текст]. — Введ. 2010–01–01. — М.: Стандартинформ, 2009. — 7 с.

А.О. Фомченков, И.В. Рыбаков, студенты;
рук. С.А. Амелин, к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАЗИТНЫХ ЕМКОСТЕЙ МДП-ТРАНЗИСТОРА СПОСОБОМ ЗАРЯДА КОНДЕНСАТОРА ОТ ИСТОЧНИКА ТОКА

Одной из актуальных задач при выявлении поддельных силовых МДП-транзисторов является разработка методики измерения паразитных межэлектродных емкостей силовых МДП-транзисторов. Возможным способом решения этой задачи является метод использования заряда конденсатора от источника тока на малую величину [1].

В данной работе предлагается использовать формулу, связывающую силу зарядного тока с ёмкостью и производной напряжения на конденсаторе [2]:

$$I = C\frac{\Delta V}{\Delta t}, \quad (1)$$

где I — сила тока, C — емкость измеряемого конденсатора, ΔV — изменение напряжения на конденсаторе, Δt — время заряда конденсатора.

Значения относительной погрешности δ описанного метода измерения ёмкости C, вычисляются по формуле[3]:

$$\delta = \frac{C_{изм} - C_{ном}}{C_{ном}} \cdot 100\% \quad ,$$

где $C_{изм}$ — измеренное значение ёмкости, $C_{ном}$ — номинальное (паспортное) значение ёмкости при $\Delta V = 0$.

В статье рассчитаны ёмкость, изменяющаяся по линейному и нелинейному закону под постоянным напряжением смещения 10 В и 25 В соответственно, определены значения погрешности измерения ёмкости.

На основании этого можно сделать вывод о том, что метод, основанный на использовании заряда конденсатора от источника тока на малую величину, является применимым для решения задачи измерения паразитных емкостей мощных МДП-транзисторов.

Литература

1. **Фомченков А. О., Петрусев О. И., Амелин С.А.** Анализ методов измерения паразитной емкости полевого транзистора //«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА» (микроэлектроника и оптотехника, инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями). Сб. трудов XVI-ой Межд. науч.-техн. конф.студентов и аспирантов. В 3 т. Т 2. –2019. (с. 188–192).
2. Конденсатор:[Электронный ресурс].URL: http://hightolow.ru/capacitor1.php (Дата обращения 5.09.19).
3. Оценка погрешностей результатов измерений: [Электронный ресурс]. URL: https://pandia.ru/text/77/496/182005475.php (Дата обращения 5.09.19).

С.В. Дроздецкий, асс., И.С. Курдумяков, студ. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

МЕТОД ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКА С ОБРАТНЫМ НАКЛОНОМ ТОКОВОЙ НАГРУЗОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Для стабилизатора напряжения есть необходимость предусмотреть защиту от перегрузки. Если такая защита отсутствует, то выходной ток будет увеличиваться по мере уменьшения нагрузочного сопротивления (до короткого замыкания в предельном случае).

Решение такой проблемы может быть использование крупных радиаторов и транзисторов с большой расчетной мощностью, которые работают далеко от опасной области характеристик [1]. Это решение не является хорошим, лучше для защиты от КЗ использовать метод ограничения тока с обратным наклоном токовой нагрузочной характеристики, при которой выходной ток уменьшается в условиях КЗ или перегрузки.

Метод ограничения тока с обратным наклона токовой нагрузочной характеристики — это ограничение по выходному току источников питания и усилителей мощности. При понижении нагрузочного сопротивления, повышается выходной ток, но схема защиты понижает как выходное напряжение, так и выходной ток значительно ниже нормальных рабочих пределов [2].

Главной целью ограничения тока в источниках питания является сохранение режима работы выходного транзистора в пределах допустимой рассеиваемой мощности.

Данный метод уменьшает рассеивание мощности при нагрузке, что помогает снизить риск пожара и теплового повреждения.

Ограничение тока и напряжения во время перегрузки или короткого замыкания уменьшают потребление энергии, тепловыделение и нагрузку на регулирующий элемент. Сброс тока и напряжения позволяет устройству обрабатывать неопределенные условия короткого замыкания без ухудшения компонентов и предотвращает потребление избыточного тока от источника.

Литература

1. **Лукашенко В.М., Уткина Т.Ю., Лукашенко В.А., Матлаш В.В., Петько Н.Н.** Систематизация современных источников питания для компьютерных систем технологического оборудования // Современные информационные технологии. 2012.
2. LDO Current Foldback [Электронный ресурс]. URL: https://www.torexsemi.com/technical–support/tips/foldback–circuits/?_ga=2.212145426.767516968.1526280405–1042979928.1526110480 (дата обращения: 15.10.2019).

Д.А. Михайлиди, студ.; Л.А. Серебрякова, студ.; А.В. Горчаков, асп.; рук. П.А. Рашитов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КАБЕЛЬ-ТРАНСФОРМАТОРНАЯ СИСТЕМА ПИТАНИЯ ТИРИСТОРНЫХ ДРАЙВЕРОВ СИЛОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ПРЯМЫМ ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В настоящее время среди устройств силовой электроники, таких как: фазоповоротные устройства, высоковольтные тиристорные коммутаторы, высоковольтные компенсаторы реактивной мощности, трансформаторные регуляторы напряжения и др., широко применяются тиристоры в качестве вентилей, объединённые в высоковольтные тиристорные сборки (ВТС) и управляемые посредством оптоволоконных связей (ОС).

Актуальной задачей является применение гальванически развязанного питания (ГРП) тиристорных драйверов (ТД) для каждого тиристора, входящего в состав ВТС, с целью повышения эффективности и функционала систем управления силовых высоковольтных устройств (СУСВУ), по сравнению с известными вариантами ГРП для ТД.

Одним из таких вариантов ГРП является кабель-трансформаторная система (КТС) питания ТД, основанная на передаче электроэнергии от управляемого высокочастотного источника тока к приёмникам на базе трансформаторов тока (ТТ), формирующих необходимое напряжение питания для ТД. Однако, данный вариант ГРП не лишён недостатков в виде нестабильной частоты работы КТС, сложностью построения аналоговых систем управления КТС и их сравнительно малой надёжностью из-за необходимости применения большого количества компонентов. Решением может быть КТС с прямым цифровым управлением (ПЦУ) на базе микроконтроллера.

ПЦУ источником тока КТС позволяет стабилизировать частоту, либо амплитудное значение тока во время работы КТС, что является важным фактором при проектировании ТТ для приёмников и обеспечивает их надёжную работу, т.к. риск насыщения ТТ снижается.

Так же достоинством КТС с ПЦУ является определение количества подключённых приёмников КТС за счёт слежения за частотой тока. Данный подход позволяет реализовывать диагностику КТС и передавать информацию СУСВУ или иному устройству/оператору по внешнему интерфейсу RS-485, что позволяет расширить функционал СУСВУ, например подключив GSM-логгер или иные модули к КТС, и может повысить эффективность работы СУСВУ.

Е.А. Рябинина, студ.; рук. С.П. Астахов, к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ МЕСТА ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОРОННОГО РАЗРЯДА НА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Известно, что возникновение коронного разряда на высоковольтной линии электропередачи (ЛЭП) сопровождается потерей энергии. Кроме того, коронный разряд является первой (по уровню увеличения энергии) фазой появления электрической дуги, что может привести к физическому повреждению элементов ЛЭП.

Обнаружить разряд на определенном участке ЛЭП и, главное, вычислить координаты места его возникновения можно с помощью сканирующего вычислительного устройства (СВУ).

Входящий в СВУ радиометр, работающий в солнечно-слепом спектральном диапазоне (250 – 280 *нм*), используется в качестве детектора излучения и размещается на стационарном посту наблюдения относительно подлежащего контролю протяженного участка высоковольтной линии электропередачи. После определения и сохранения в запоминающем устройстве географических координат места размещения радиометра аналогично определяются и сохраняются координаты опор подлежащего контролю протяженного участка ЛЭП. Затем начинается процесс сканирования с перемещением поля зрения радиометра в пространстве по криволинейной траектории так, чтобы обеспечивалось нахождение в его пределах только одного провода из подлежащего контролю участка ЛЭП. Координаты сигналов, указывающих на наличие источников излучения, вычисляются после фиксации угловых положений оптической оси радиометра в момент регистрации таких сигналов. При завершении сканирования одного провода из контролируемого участка начинается сканирование следующего провода. Процесс повторяется до тех пор, пока на наличие коронных разрядов не будет исследован весь подлежащий контролю участок высоковольтной линии электропередачи. Вычисленные координаты мест возникновения разрядов отображаются на дисплее.

В настоящее время ведется дальнейшая разработка устройства.

Литература

1. **Якименко И. В.** Методы, модели и средства обнаружения воздушных целей на атмосферном фоне широкоугольными оптико-электронными системами. СПб.: Лань, 2014. — 176 с.
2. **Смолин В.А., Рябинина Е.А.** Разработка измерительно-вычислительного комплекса для работы в ультрафиолетовом диапазоне //Смоленский ежегодный конкурс молодых ученых — 2019: Сборник материалов — 2019 — в печати.

С.Е. Морозов, В.Ю. Чернов, студ.; рук. С.П. Астахов, к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФРАКРАСНЫХ ОБОГРЕВАТЕЛЕЙ

Для более эффективного поддержания температуры в помещении без изменения его конфигурации и состояния теплоизоляции могут использоваться высокоэффективные нагревательные элементы, а также локализация обогреваемых зон.

Использование ИК излучения для обогрева помещений делится на две категории — непосредственный нагрев находящихся в помещении предметов при помощи направленного излучателя и нагрев специальных элементов, конфигурация которых эффективна для теплоотдачи. В первом случае обогреватель располагается в верхней части помещения, излучатели направляются в нижнюю полусферу для равномерного распределения обогрева и обеспечения возможности конвекции. Во втором случае обогреватель располагается насколько возможно ниже, так как источник тепла находится в непосредственной близости от излучателя, также ко второй категории может быть отнесено устройство, обогревающее пол помещения, располагаясь внутри напольного покрытия.

Вследствие использования инфракрасных обогревателей для достижения высокого КПД и минимальных затрат энергии необходимо управлять областями обогрева. Минимальная температура помещения при отсутствии в нем человека поддерживается на уровне +18 °С, при наличие человека производится локальный обогрев до установленной заранее температуры. Управление пользователем может осуществляться при помощи подключенного к устройству по Bluetooth или Wi-Fi смартфона со специальным приложением.

Литература

1. **Леконт Ж.** Инфракрасное излучение. Пер. с франц. М. Физматгиз 1958г. С 584.
2. **Дерибере М.** Практические применения инфракрасных лучей. М.-Л. Гос.Энергоиздат 1959г. С 440.

Д.А. Гондоров, студ.; рук. С.А. Образцов., к.т.н., доц.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЗАРЯДА ЛИТИЙ-ИОННОГО АККУМУЛЯТОРА

В связи с повсеместным распространением электроники весьма остро встала проблема точного измерения уровня заряда батареи, особенно в приборах, где внезапное отключение прибора вследствие разряда батареи может нести за собой тяжелые последствия.

Первый метод, прямого измерения с помощью приборов, заключающийся в том, для измерений используется зависимость значения постоянного выходного тока от степени заряда. Однако этот метод, вследствие явлений, таких как температурная зависимость, токовая зависимость и эффект старения, имеет низкую точность измерений.

Второй способ — определение заряда по напряжению на выводах. Логично, что при снижении заряда аккумулятора падает его напряжение. Но как видно из рис. 1, форма графиков схожа, что подтверждает возможность использования такого метода, но есть такие точки, которые нельзя трактовать однозначно.

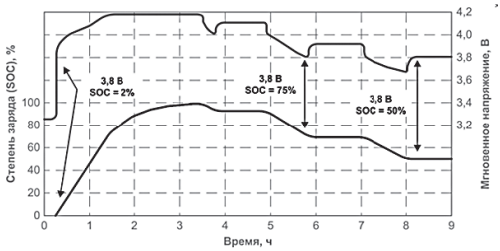


Рис. 1. Временные диаграммы изменения напряжения на выводах и степени заряда

Третий — метод интегрирования токов, заключающийся в постоянном измерении токов, втекающих в аккумулятор и вытекающих из него:

$$SOC(t) = SOC(t0) - \int_{t0}^{t} \frac{n(\tau) \cdot I(\tau)}{C_b^o} d\tau$$

Как следует из формулы, для этого нам нужно знать полный заряд, для этого нужно измерить ток в процессе заряда. Однако, и у этого метода есть свои недостатки: первый — если нагрузки будут импульсными, то они не будут учитываться в полной мере, и второй — накопление ошибки измерений при многократных измерениях.

Таким образом, самым точным методом быстрого измерения текущего заряда аккумулятора является метод интегрирования токов.

Литература

1. Химические источники тока: Справочник / Под ред. Н.В. Коровина и А.М. Скундина. — М.: Издательство МЭИ, 2003. 740 с., ил.

В.С. Бизюкова, студ., рук. С.А. Амелин, к.т.н., доцент
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА *SPICE*-ПОДСХЕМЫ ШИМ-КОНТРОЛЛЕРА ТОКА СВЕТОДИОДОВ

В настоящее время математическое моделирование играет очень большую роль при разработке технических устройств. Из-за широкого применения импульсных стабилизаторов тока, созданных на основе специализированных контроллеров, есть необходимость в разработке их математических моделей.

Одним из ШИМ-контроллеров, который используется при создании современных стабилизаторов тока светодиодов, является микросхема *HV9910* [4]. При создании модели её внутренней структуры использовалась библиотека функциональных блоков [1] для программы *Micro-Cap* [2].

Полученная математическая модель ШИМ-контроллера *HV9910* [3], применима только для работы в среде схемотехнического моделирования программы *Micro-Cap*. Для того, чтобы полученная модель была универсальной и её можно было использовать также и в других программах схемотехнического моделирования необходимо создать подсхему на языке *SPICE*. Это к тому же даст возможность зарегистрировать, полученную модель микросхемы *HV9910*, как программу для ЭВМ, что позволит её применять не только в учебных целях.

Для оценки адекватности полученная *SPICE*-подсхема ШИМ-контроллера стабилизатора тока светодиодов *HV9910* была протестирована в типичной схеме включения в программе *Micro-Cap*. Результат моделирования показал, что работа модели микросхемы *HV9910* соответствует технической документации. ШИМ-контроллер тока обеспечивает стабильный ток в цепи светодиодов.

Следовательно, создание математической модели ШИМ-стабилизатора тока светодиодов *HV9910*, а затем и её оформление в виде *SPICE*-подсхемы упростит задачу в разработке устройств, на основе ШИМ-контроллеров тока.

Литература

1. **Амелин С.А., Амелина М.А.** Библиотека функциональных блоков. Системы компьютерной математики и их приложения. 2013. № 14. С. 5–7.
2. **Амелина М.А., Амелин С.А** Программа схемотехнического моделирования MICRO-CAP. Версии 9, 10 — Санкт-Петербург, Издательство Лань, 2014, 632 С.
3. **Амелин С.А., Бизюкова В.С.** Математическая модель ШИМ-контроллера стабилизатора тока светодиодов //Сборник: IX международная научно-техническая конференция «энергетика, информатика, инновации-2019» — Смоленск: Издательство «Универсум», филиал НИУ МЭИ в г. Смоленске, т.1, 2019. — 355–363с.
4. Universal High Brightness LED Drivers HV9910. Supertex inc. Doc.# DSFP-HV9910, 2004.

В.А. Клауга, И.С. Трошин, студенты; рук. В.А. Смолин, ст. преп.
(Филиал «НИУ МЭИ» в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА ИОНОФОНА НА ОСНОВЕ ТРАНСФОРМАТОРА ДИОДНО-КАСКАДНОГО СТРОЧНОГО

Разрабатываемый ионофон строится на основе схемы сдвоенного однотактного преобразователя, ШИМ-контроллера и драйвера управления транзисторными ключами.

К ШИМ-контроллеру через плёночный конденсатор подключается источник звукового сигнала. При изменении скважности импульсов, изменяется геометрический размер электрической дуги, получаемой на трансформаторе, так как количество подводимой энергии тоже меняется.

Таким образом, данное явление приводит к возникновению звуковых колебаний.

Использование ТДКС связано с его распространенностью и относительно небольшой стоимостью. Самостоятельное изготовление подобного трансформатора не является безопасным, так как зачастую не удаётся обеспечить должную степень изоляции обмоток при таких высоких значениях напряжения.

Во избежание индуктивного выброса на транзисторах, а также в целях повышения коэффициента полезного действия установки, было решено использовать схему сдвоенного однотактного преобразователя, или так называемого «косого моста».

Когда оба ключа замкнуты, входное напряжение поступает на первичную обмотку, на вторичной обмотке появляется напряжение. В момент выключения транзисторов первичная обмотка через диоды подключается ко входному источнику напряжения в обратной полярности, перемагничивание трансформатора происходит автоматически.

Недостатком данной схемы является применение дополнительного полевого транзистора.

Таким образом, применение данной топологии позволит:

- получить прирост КПД установки;
- значительно снизить амплитуду индуктивного выброса на транзисторах (что позволит применить ключи с меньшим напряжением сток-исток), нежели в альтернативных вариантах построения;
- снизить стоимость разработки ионофона.

Литература

1. Основы преобразовательной техники: Учеб. пособие / В.С. Руденко, В.И. Сенько. — 2-е изд., перер. и доп. — М.: Высш. шк., 1980. — 421с.: ил.

Н.А. Шелест, студ.; Е. А. Нестеренко, студ.;
П.А. Рашитов, к.т.н., доцент (НИУ "МЭИ")

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПЕРЕДАЧИ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ В НАГРУЗКУ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ С МАГНИТОРЕЗОНАНСНЫМ КОНТУРОМ

В работе рассматривается преобразователь с беспроводной передачей энергии от источника питания к приемнику с применением магниторезонансными контуров. Эти преобразователи и содержатся в WPC — спецификациях и применяются для зарядки беспроводных устройств.

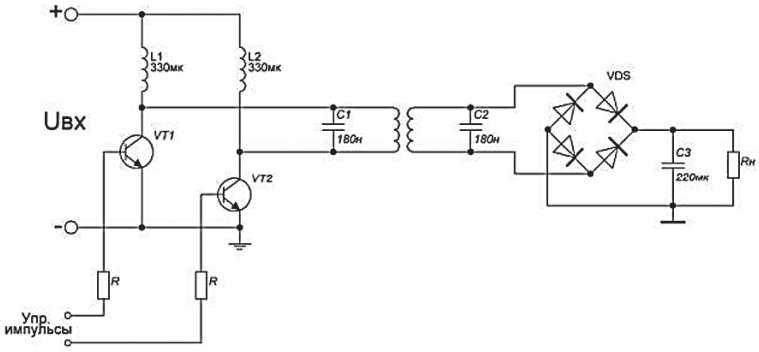


Рис. 1. Схема преобразователя

При передаче энергии возможно изменение расстояния между двумя магниторезонансными контурами, что ведет к снижению КПД устройства. Предложенный алгоритм управления предполагает контролировать уровень выходного напряжения путем отслеживания параметров передатчика и поддержания резонанса в передающем контуре, путем частотного регулирования ключей передатчика.

Секция 9.
ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Председатель секции — Гуляев Александр Михайлович
Секретарь секции — Варлашов Игорь Борисович

М.И. Гудинова студ.; рук. П.А. Рашитов, к.т.н., доцент (НИУ "МЭИ")

РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСА «ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ 4-20 мА» С ПОМОЩЬЮ МАЛОМОЩНОГО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Токовая петля — способ передачи информации с помощью слежения за уровнем тока в цепи. Ток петли формируется пропорционально показаниям напряжения с датчика в диапазоне от 4 до 20 мА.

Различного рода датчики требуют определенного алгоритма обработки информации — подсчет среднего и среднеквадратичного значений сигнала, его фильтрация. Использование микроконтроллера для реализации токовой петли позволит унифицировать устройство для любого вида датчиков и алгоритма обработки их сигнала. С использованием микропроцессорной системы появляется возможность значительно упростить калибровку устройства обработки данных, что позволит снизить затраты на человеческий и временной ресурсы, а также осуществлять калибровку оперативно, в реальном времени.

При анализе маломощных микроконтроллеров по таким критериям, как собственное потребление МК в разных режимах работы, диапазон рабочих частот, возможность использования периферийных модулей таких как АЦП, ЦАП, интерфейс UART, выбран наиболее оптимальный вариант контроллера серии MSP430FR235x от Texas Instruments. Более того, микроконтроллер имеет интеллектуальный модуль цифро-аналогового блока (SAC), который представляет собой наличие операционного усилителя на кристалле, имеющий возможность работать в паре с внутренним ЦАП, что позволяет исключить из схемы устройства внешние микросхемы ОУ.

Разработанный макет микропроцессорной системы для реализации токовой петли 4-20мА предусматривает средства для измерения потребляемой мощности при различных режимах работы МК и взаимодействиях с различной периферией, а также предусмотрены средства для отладки алгоритмов обработки информации с датчика. Макет позволяет исследовать различные конфигурации схемотехники обработчика: схема с использованием внешней микросхемы ОУ, схема с использованием внутренних цифро-аналоговых модулей МК, схема оцифровки аналогового сигнала, заведенного с внешнего первичного обработчика данных.

Предстоит анализ потребления мощности системы при различных частотах тактирования и дискретизации и алгоритмах обработки, взаимодействия МК с периферийными модулями UART, АЦП, ЦАП.

Генералов Василий Сергеевич; Краснюков Евгений Анатольевич;
Акционерное общество «МЦСТ». 117105, Москва, ул. Нагатинская,
д. 1, стр. 23.; Vasily.S.Generalov@mcst.ru; Evgeny.A.Krasnuykov@mcst.ru

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ КРИСТАЛЛА

Эффективность системы распределения питания играет важную роль современного проектирования печатных плат, корпусов и кристаллов [1]. В статье подробно рассмотрены проблемы систем питания, возникающие при растущей интеграции и одновременном повышении скорости работы микросхем. Одной из ключевых причин приводящих к некорректному функционированию микросхем, является так называемый шум одновременного переключения (Simultaneous Switching Noise) [2].

На этапе разработки системы питания восьмиядерного процессора компании были предусмотрены тестовые площадки, дающие прямой доступ к шинам питания и земли кристалла в верхнем (AP) и нижнем слоях металлизации (M1). На изготовленном образце в различных режимах работы с помощью осциллографа снимались эпюры потенциалов тестовых площадок. В рамках статьи, авторы связывают экспериментально полученную высокую вероятность «звенящего» корпуса войти в резонанс с системой распределения питания кристалла на одной из гармоник рабочей частоты микросхемы, с влиянием взаимной индуктивности кристалла и корпуса [3].

В ходе работы детально рассмотрена проблема системы распределения питания кристалла связаная в первую очередь с высокой плотностью потребления тока и собственной индуктивностью системы питания [3, 4]. Рассмотрены эффективные варианты увеличения емкости кристалла, с целью уменьшения амплитуды и частоты шума системы распределения питания. По определению электрический ток — это скорость изменения заряда, т.е. если система питания не способна обеспечить достаточный ток, то необходимо локально внести в систему дополнительный заряд, тем самым компенсируя потерю. Подобным свойством обладает электрический конденсатор. В процессе проектирования системы распределения питания кристалла, основными механизмами повышения емкости являются:

- Создание емкого конденсатора в верхних слоях металлизации.
- Размещение небольших специальных емкостных ячеек в критических областях.
- Контроль выбора конфигурационных параметров.

Локальное наращивание емкости кристалла заключается во вставке развязывающих конденсаторов, т.н. DECAP ячеек, рядом с определенными заранее проблемными местами схемы. Обычно в роли конденсаторов выступают МОП-транзисторы с большой шириной канала для набора достаточной емкости. Например, если замкнуть сток, исток и подложку n-МОП транзистора с шиной земли, а его затвор — с шиной питания, то это будет эквивалентно включению емкости обогащенного канала транзистора между шинами питания и земли. Емкость этой ячейки ограничена десятками и сотнями фемтофарад, однако подобная ячейка уязвима к эффектам электростатической разрядки

при броске питания на затворе, и ее емкость деградирует с ростом частоты [2], но подобное исполнение эффективно использует площадь, что зачастую играет главную роль при проектировании.

Другим способом наращивания емкости кристалла является формирование т.н. MIM конденсатора (Metal Insulator Metal) в верхних слоях металлизации кристалла, описанным в [5, 6]. Преимуществом данного метода является его слабое влияние на проект: подобный конденсатор можно интегрировать в уже сформированный проект после исследования тестовой партии микросхем с последующим перевыпуском. Однако, важно учитывать влияние MIM конденсаторов на сигнальную трассировку в верхних слоях металлизации.

Список литературы

1. **Воробьев, А.С., Бычков, И.Н.** Решения по реализации многокристального процессора для встраиваемых систем // Научно-технический журнал Наноиндустрия — 2018. — №82 (Специальный выпуск). — С. 86—89.
2. **Patrice Joubert Doriol, Cristiano Forzan, Davide Villa1, Davide Pandini, Renato Castellan, Daniele Cervini, Mario Rotigni, Giovanni Graziosi, Giuseppe Contarino, and Egidio Marzorati,** Power Rail Noise Minimization for EMC-aware Design, SNUG Europe 2008
3. Sanjay Pant, Eli Chiprout, Power Grid Physics and Implications for CAD, IEEE Design and Test of Computers, June 2007
4. **Бычков И.Н., Рябцев Ю.С., Юрлин С.В.** Варианты распределенной сети питания для многоядерного микропроцессора // Вопросы радиоэлектроники / Выпуск 3. Серия ЭВТ. — М. 2013 г. — С. 157–168
5. **D. Roberts, W. Johnstone, H. Sanchez, Om Mandhana, D. Spilo, J. Hayden, E. Travis, B. Melnick, M. Celik, Byoung Woon Min, J. Edgerton, M. Raymond, E. Luckowski, C. Happ, A. Martinez, B. Wilson, Pak Leung, T. Garnett, D. Goedeke, T. Remmel, K. Ramakrishna, and B.E. White Jr.,** Application of On-Chip MIM Decoupling Capacitor for 90nm SOI Microprocessor, IEEE 2005
6. **Héctor Sánchez, Om P. Mandhana, Bill Johnstone, Doug Roberts, Joshua Siegel, Brad Melnick, Muhsin Celik, Mike Baker, Jim Hayden, Byoung Min, John Edgerton and Bruce White,** Technology and Design Cooperation: High-K MIM Capacitors for Microprocessor, IO, and Clocking, IEEE 2007

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

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ ПЛЁНОК НА ОСНОВЕ ПФМС И ПМС

Кремний-углеродные плёнки обладают всеми достоинствами алмазоподобных углеродных плёнок и при этом лишены многих их недостатков. За счёт своих достоинств кремний-углеродные плёнки выступают в роли хороших защитных покрытий [1, 2] для различных областей техники и электроники. В связи с этим их электрические и оптические свойства, а также термостабильность, твёрдость и другие физические параметры хорошо изучены. Однако на данный момент диэлектрические свойства остаются слабо изученными, чему и посвящена данная исследовательская работа.

Плёнки были получены на кафедре электроники и наноэлектроники НИУ «МЭИ» методом плазмохимического разложения кремнийорганического вещества полиметилсилоксана (ПМС) и полифенилметилсилоксана (ПФМС).

В работе исследовались диэлектрические свойства кремний-углеродных плёнок, при помощи установки для комплексного измерения диэлектрических свойств материалов Novocontrol Alpha-A и прецизионного LCR измерителя Agilent E4980A .

По результатам исследования диэлектрических потерь образцов на основе ПФМС можно сказать, что плёнка на основе ПФМС является полярным диэлектриком, в то время как плёнка на основе ПМС — неполярным. Это также подтверждают температурные исследования диэлектрических потерь. При этом значение диэлектрической проницаемости в диапазоне частот от 10^2 до 10^7 Гц для ПМС постоянно и равно 4,3, а для ПФМС уменьшается от 8,9 до 4,9.

Авторы благодарят Шупегина М.Л. за предоставление образцов для исследования.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-07-00021).

Литература

1. **Robertson J.** Diamond-like amorphous carbon / Robertson J. Materials Science and Engineering, 2002, vol. 37, pp 129–281.
2. **Luo, J. K.** Diamond and diamond-like carbon MEMS [Text] / J. K. Luo [et al.] // Journal of Micromechanics and Microengineering. — 2007. — V. 17. — N. 7. — P. 147–163.

Р.А. Толстиков, студ.; рук. П.Н. Дробот, к.ф-м.н., доц. (ТУСУР, Томск)

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОРОГОВОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ОСЦИЛЛИСТОРНОГО ЭФФЕКТА В КРЕМНИИ

Практический интерес к осциллисторному эффекту [1] вызван возможностью разработки на его основе усилителей, генераторов и датчиков различных величин с частотным выходом, построенных на принципах функциональной электроники. Интерес к таким датчикам привел к образованию международной ассоциации IFSA (sensorsportal.com). Осциллисторный эффект имеет пороговый характер возникновения, в работе [2] получено выражение для порогового электрического поля, которое при высоком уровне инжекции ($n \cong p$) преобразуется к виду

$$\text{Еп} = \frac{2\left(k^4 + k_x^2\chi^2\right)k_Б T}{eB_n k_y k_z \chi[\mu_n(T) + \mu_p(T)]}, \qquad (1)$$

где B — магнитная индукция; χ — градиент концентрации плазмы от оси образца к поверхности; $k^2 = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2$, μ_n и μ_p — подвижности электронов и дырок, $k_Б$ — постоянная Больцмана; T — температура, e — заряд электрона.

Далее проведем анализ температурной зависимости *Еп*. По данным работы [3] скорость поверхностной рекомбинации кремниевых полупроводниковых образцов имеет одно и тоже значение при Т=77 и Т=300 К. Тогда можно утверждать, что поперечный градиент с не зависит или слабо зависит от температуры. С учетом этого из (1) следует, что Еп ~ $T/(\mu_n + \mu_p)$. Тогда в координатах lgЕп от lg $(\mu_n + \mu_p)$/ Т при Вп = const зависимость Еп(Т) (1) является прямой линией с тангенсом угла наклона $|\text{tg}\varphi| = 1$.

Литература

1. **Владимиров В.В.** и др. Плазма полупроводников М.: Атомиздат, 1979, 256 с.
2. **Каплан Б.И.** и др. Осциллисторный эффект в германии в условиях поперечного градиента плотности плазмы // ФТП, 1991, т.25, вып.11, С. 2011–2013.
3. **Schulz M., Voges E.** Schraubenformige dichtewellen und oszillistor-effekt im elektron-loch-plasma des p-siliziums // Z. angew. Phys., 1968. Bd.25. Heft 3. S.141–145.

В.В. Рязанов, маг.; рук. Н.Н. Строев, к.т.н., доцент;
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

УЧЕТ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДАТЧИКОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОНЦЕНТРАЦИЙ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

Датчики определения опасной концентрации газов являются неотъемлемым компонентом систем промышленной и персональной безопасности, аварийной сигнализации и аналитического оборудования. Методы обнаружения газов имеют особенности, которые определяют области применения датчиков, исходя из требований к чувствительности, избирательности, взрывобезопасности и стоимости. К наиболее перспективным датчикам газа относятся полупроводниковые, подходящие для техники массового применения.

На сегодняшний день полупроводниковые датчики способны справиться с выявлением широкого спектра детектируемых веществ: горючий газ, природный газ, коксовый газ, водород, пары спирта, озон, оксид углерода, аммиак, бензол, сероводород, летучие органические вещества (VOC). Для определения этих газов используется полупроводник, активным материалом которого является оксид олова.

Поверхность этого химического вещества при нагревании начинает активно абсорбировать (поглощать) молекулы кислорода. Которые далее захватывают электроны, в результате чего образовываются отрицательно заряженные ионы кислорода. Что приводит к увеличению сопротивления полупроводника.

Оксид олова отличается чувствительностью к изменению характеристик воздуха, что позволяет формировать сигнал, мощность которого пропорциональная концентрации газа. Например, при незначительном количестве метана в помещении звуковое оповещение может быть прерывистым. А когда концентрация станет взрывоопасной, сигнал становится непрерывным.

Выводы: полупроводниковые датчики, надежны и обладают высокой степенью чувствительности, поэтому они широко используются в детекторах бытового газа. В промышленности такие датчики не применяются, так как недостаточно точны при определении отдельных газов, чувствительны к атмосферной температуре и влажности, а также медленно проходят процесс очистки после идентификации газа.

Литература

1. **Ж. Аш с соавторами.** Датчики измерительных систем. // М. «Мир». 1992. Т.2. С. 380, 395.
2. Электронный ресурс: http://www.figarosensor.com.

Автор: Д.А. Лужайцев, студент ТУСУР каф. ФЭ;
Научный руководитель: В.В. Курикалов, к.т.н.,
инженер II категории АО «НПФ «Микран»
Томский университет систем управления и радиоэлектроники
(ТУСУР), г. Томск mail to: valerija_malinovskaja@mail.ru

МЕТОД РАСЧЕТА ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ КАНАЛА БУФЕРНОГО УСИЛИТЕЛЯ MP546

В основе статьи лежит расчет теплового сопротивления и температуры канала в режиме насыщения буферного усилителя MP546 разработанного на основе моделей по технологии PP15-51, *GaAs pHEMT* 0,15 мкм в виде монолитной интегральной схемы.

Эксплуатация приборов микро и нанотехнологий происходит в разных температурных условиях, при этом заказчик нередко предъявляет различного рода требования стабильности структур [1] в разных условиях, поэтому немаловажным делом является расчет теплового сопротивления наиболее энергопотребляемого элемента на кристалле, а именно транзистора, и посредством этого расчет температуры канала в режиме насыщения.

Для подложки характеризующейся толщиной $t = 100$ *мкм* и теплопроводностью k и затвора транзистора представляющего собой источник тепла с длиной $L_g = 0{,}15$ *мкм* и шириной $W_g = 75$ *мкм*, и пространством между двумя соседними затворами $s = 17$ *мкм*, напряжение питания транзистора ($U = 4$В), ток в режиме насыщения ($I = 78$ мА), количество пальцев затвора ($NOF = 4$).

Значение теплопроводности (k) рассчитывается по следующей формуле [2]:

$$k = 5.6873 \cdot 10^4 \cdot T^{-1.23} = 5.6873 \cdot 10^4 \cdot (-40 + 273)^{-1.23} = 41.8 \text{ Вт/(м·К)},$$

Суммарная мощность источника, приходящаяся на один палец затвора, определяющаяся следующим образом:

$$P = \frac{U \cdot I}{NOF} = \frac{4 \cdot 78 \cdot 10^{-3}}{4} = 0.078 \text{ Вт/затвор},$$

Общее тепловое сопротивление находится как сумма сопротивлений в двух областях:

$$\theta_{total} = \theta_1 + \theta_2 = 513 + 832 = 1345 \text{ К/Вт},$$

В свою очередь тепловой поток в первой области находится по следующей формуле:

$$\theta_1 = \frac{1}{\pi W_g k} \ln\left[\frac{f\left(g\left(\sqrt{2}s\right)+1\right)-1}{f\left(g\left(\sqrt{2}s\right)+1\right)+1} \cdot \frac{f\left(g\left(L_g\right)\right)+1}{f\left(g\left(L_g\right)\right)-1}\right] =$$

$$= \frac{1}{\pi \cdot 75 \cdot 10^{-6} \cdot 41.8} \ln\left[\frac{f\left(g\left(\sqrt{2} \cdot 17 \cdot 10^{-6}\right)+1\right)-1}{f\left(g\left(\sqrt{2} \cdot 17 \cdot 10^{-6}\right)+1\right)+1} \cdot \frac{f\left(g\left(0.15 \cdot 10^{-6}\right)\right)+1}{f\left(g\left(0.15 \cdot 10^{-6}\right)\right)-1}\right] = 513 \text{ К/Вт},$$

При этом тепловое сопротивление во второй области находится по следующей формуле:

$$\theta_2 = \frac{1}{2\pi sk}\ln\left[\frac{h(2.3\cdot t)}{h(s)}\right] = \frac{1}{2\pi\cdot 17\cdot 10^{-6}\cdot 41.8}\ln\left[\frac{h(2.3\cdot 100\cdot 10^{-6})}{h(17\cdot 10^{-6})}\right] = 832 \text{ К/Вт},$$

Температура канала определяется следующим образом по формуле:

$$T_к = (T^{-0.23} - 0.23\left[\theta_{total}\cdot P\right]T^{-1.23})^{(-1/0.23)} = ((80+273)^{-0.23} - 0.23\cdot\left[1345\cdot 0.078\right]\cdot(80+273)^{-1.23})^{(-1/0.23)} = 474 \text{ К}$$

Таблица 1. Расчетные данные теплопроводности, теплового сопротивления и температуры канала

Температура, К	Теплопроводность (k), Вт (м·К)	Суммарное тепловое сопротивление (θtotal), К/Вт	Температура канала в режиме насыщения, К	Температура канала в режиме насыщения, °С
233	69.7	807	304	31
298	51.5	1092	395	122
353	41.8	1345	474	201

Анализ рассчитанных значений теплового сопротивления и температуры канала мкм позволяет иметь представление о том, что при увеличении температуры окружающей среды происходит увеличение теплового сопротивления, а следовательно температуры канала, что говорит о том, что при введение в эксплуатацию данного прибора необходимо опираться на рассчитанные данные, что даёт представление о тепловыделении данной интегральной микросхемы и при эксплуатации в условиях повышенной температуры необходимо использовать теплоотводящие элементы, такие как радиаторы, естественную, либо искусственную вентиляцию для предотвращения перегрева.

Список использованной литературы:

1. **Aaen P.** Modeling and Characterization of RF and Microwave power FETs / P. Aaen, J. Pla, J. Wood. — Cambridg: Cambridge University Press, 2007. — 362 p.
2. **Darwish, A. M.** (2005). Accurate Determination of Thermal Resistance of FETs. In: IEEE MTT-S Int. Mircrowave Sym.Dig., Phoenix, Vol. 53, pp. 306–313.

А. И. Кобзев, студ.; рук. И. Б. Варлашов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ АЦП С ЭФФЕКТИВНОЙ РАЗРЯДНОСТЬЮ БОЛЕЕ 12 БИТОВ

Современные телекоммуникационные приложения требуют АЦП, которые бы имели быстродействие более 100 МВыб/с и эффективной разрядностью более 12 битов [1]. Такие АЦП также должны обладать сравнимо малым энергопотреблением и иметь низкий уровень собственных шумов.

Для решения данной задачи предлагается спроектировать АЦП, построенный по конвейерной архитектуре.

Принцип работы АЦП конвейерной архитектуры построения (см. рисунок) заключается в следующем: входной сигнал поступает на устройство выборки хранения на первой стадии, запоминается, в это же время происходит формирование цифрового сигнала на первой стадии преобразования. Оставшееся напряжение, оставшееся, в УВХ усиливается и поступает на следующую стадию. По прохождении всех стадий преобразования, сформированный код поступает на устройство цифровой коррекции, после которого выставляется действительный цифровой код.

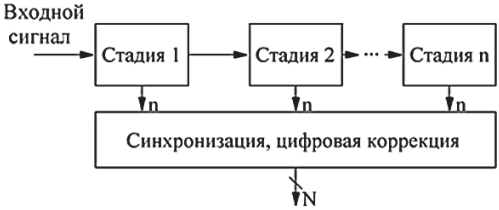


Рис. 1. Структура АЦП конвейерной архитектуры построения

В результате проделанной работы была разработана схема электрическая принципиальная ячейки АЦП конвейерной архитектуры преобразования. Работоспособность схемы была проверена с помощью моделирования схемы электрической принципиальной и схемы, экстрагированной из топологического представления ячейки.

Литература

1. **Н. О'Риордан.** Конвейерные или дельта-сигма АЦП для телекома // Электронные компоненты. 2010. №2. С. 44–46.

А.Е. Лисицын, В.А. Полюшко; рук. А.А. Иванов, к.х.н. (НИ ТГУ, г. Томск)

ПОЛУЧЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЛОЕВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА АЛЮМИНИЕВОМ ОСНОВАНИИ ПОСРЕДСТВОМ 3D АЭРОЗОЛЬНОЙ ПЕЧАТИ

При разработке и изготовлении электронных изделий и устройств, все чаще возникает потребность в изготовлении в короткие сроки штучных изделий, не прибегая к дорогостоящим технологиям и оборудованию. Использование классических технологий не всегда позволяет достичь необходимого результата при изготовлении изделий микроэлектроники в сжатые сроки. Т. о., существует потребность в разработке новых технологий, позволяющих в сжатые сроки изготавливать необходимые изделия, обладающие высокой точностью и надежностью при эксплуатации.

Стандартные способы изготовления печатных плат не обеспечивают должной точности при низких отходах материала, а в некоторых случаях вообще не могут быть применены. Наряду с классическими технологиями изготовления печатных плат, существуют аддитивные технологии. Так, 3D аэрозольная печать позволяет изготавливать многослойные печатные платы, миниатюрные нагревательные элементы и сенсоры в сжатые сроки и с минимальными затратами материалов. В настоящее время, наиболее доступными для использования являются аэрозольные принтеры выпускаемые компаниями Optomec и Neotech AMT.

В свою очередь использование существующих на отечественном и зарубежном рынке материалов, не всегда приводит к достижению необходимых эксплуатационных характеристик изготавливаемых изделий.

Целью работы является получение диэлектрических слоев печатных плат на алюминиевом основании посредством 3D аэрозольной печати.

Из-за относительно низкой стоимости оборудования и практически отсутствующего перерасхода материалов, аэрозольная печать является экономически выгодным методом. Для получения качественного диэлектрического покрытия печатных плат, нами выбран наполненный полиалюмосиликат, имеющий высокие эксплуатационные характеристики. Так, для получения беспористых покрытий нами определены факторы влияющие на свойства готового изделия: количество подаваемого аэрозоля в единицу времени, сфокусированность пучка аэрозоля, скорость движения печатной головки, плотность аэрозоля, размер несущих капель аэрозоля, размер частиц порошка диэлектрика, концентрация частиц порошка диэлектрика, дзета потенциал суспензии, способ получения аэрозоля, температурные характеристики суспензии и т.д.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-29-11018\19.

В.А. Полюшко, А.Е. Лисицин, асп.; рук. А.А. Иванов, к.х.н. (ТУСУР, г. Томск)

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ КОМПОНЕНТОВ ПНЕВМОЦИРКУЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ ДЛЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ И КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

Основой для производства керамических и полимерных композиционных материалов являются высокодисперсные порошки металлов, их оксидов, нитридов и др. Также, высокодисперсные порошки выступают в качестве специальных добавок в пасты и клеи, задающие необходимые диэлектрические, теплофизические, электрофизические и механические свойства готовых изделий микроэлектроники. Все эти материалы объединяются в специальные системы, где каждый компонент используется с учетом необходимости химической и физической совместимости с другими фазовыми элементами химической структуры. И чем более однороден состав порошков по размеру и форме, тем более качественное изделие получается при его изготовлении.

Целью работы является получение высокодисперсных порошковых компонентов пневмоциркуляционным методом применяемых для создания наполненного полиалюмосиликата, выступающего в качестве диэлектрических слоев печатных плат на металлическом оановании.

Используя пневмоциркуляционный метод были получены различные фракции высокодисперсных порошков (от 0,5 мкм до 40 мкм) широкого класса материалов (Al_2O_3, AlN, BN, стеклокерамических материалов). Данный метод характеризуется возможностью проводить обработку частиц ударом, скалыванием и обдиром в процессе управляемого циркуляционного движения под действием высокоскоростных газовых струй с одновременным фракционированием частиц на высокоскоростном лопаточном роторе и во внешних сепарационных элементах.

Исследование свойств полученных порошков показали, что для создания композиционного материала на основе полиалюмосиликата и полученных высокодисперсных порошков наполнителей обладающего бездефектной и беспоритстой структурой, необходимо учитывать параметры частиц, позволяющие охарактеризовать их в жидкой фазе.

Определено, что стабильность состояния частиц дисперсного наполнителя в золе полиалюмосиликата напрямую связана с дзета-потенциалом, который зависит от pH и температуры. Величина дзета-потенциала определяет структурообразование суспензии, т.к. влияет на агрегацию и дезагрегацию частиц.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-11018\19.

М.Е. Федянина, студ.; рук. П.И. Лазаренко, к.т.н. (НИУ «МИЭТ», Зеленоград)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СВОЙСТВА АМОРФНЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК $Ge_2Sb_2Te_5$ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭЛЛИПСОМЕТРИИ

Существенный контраст в изменении оптических свойств тонких пленок $Ge_2Sb_2Te_5$ (GST225) при переходе от аморфного состояния к кристаллическому под действием температурного разогрева функциональной области лазерным импульсом или электрическим током и возможность формирования состояний с частичной кристаллизацией открывает широкие возможности их использования в устройствах интегральной полностью оптической памяти. Однако формирование промежуточных состояний вследствие температурного воздействия изучено недостаточно и до сих пор отсутствуют данные по изучению термооптического эффекта в широком диапазоне температур. В связи с этим целью данной работы являлось исследование влияния температурного воздействия на оптические свойства тонких пленок GST225 как в аморфном состоянии, так и в состояниях с частичной кристаллизацией.

Для достижения поставленной цели были подготовлены тонкие пленки GST225, сформированные на кремниевых подложках методом магнетронного распыления мишени. Толщина пленок составляла 100 нм, для изучения фазового перехода, и 130 нм, для изучения термооптического эффекта, и контролировалась с помощью атомно-силовой микроскопии. Для изучения фазового перехода тонкие пленки отжигались в диапазоне от комнатной температуры до 300 °C с помощью температурного столика Linkam HFS600E-PB4 в атмосфере аргона.

При исследовании тонких пленок GST225 при нагреве до температур ниже 70 °C выявлено наличие термооптического эффекта, приводящего к изменению спектров коэффициента экстинкции и показателя преломления. Анализ полученных зависимостей позволил определить термооптический коэффициент, равный $-1{,}14 \cdot 10^{-3}$. Дальнейший нагрев выше 170 °C приводит к резкому изменению оптических свойств и наблюдается увеличение значений показателя преломления и коэффициента экстинкции с 4,05 и 0,01 для аморфного образца до 6,38 и 0,77 для кристаллического (нагрев до 200 °C) на длине волны равной 1550 нм соответственно. При этом за счет существенной разницы оптических свойств до и после фазового перехода продемонстрирована возможность формирования 5 состояний с частичной кристаллизацией и определены их оптические параметры.

К.Н. Афонин, А.Ю. Хомяков, асп.; рук. А.А. Иванов, к.х.н. (ТУСУР, г. Томск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИАЛЮМОСИЛИКАТОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СВЕТОДИОДНОМУ ИЗЛУЧАЮЩЕМУ ЭЛЕМЕНТУ

В настоящее время, среди производителей светотехнических изделий и устройств набирают популярность светодиодные лампы типа «filament». Лампы такого типа обладают высокой световой эффективностью, низким энергопотреблением и длительным сроком службы. Однако конструкция такой лампы имеет плохое рассеивание тепла, что в основном обусловлено малой площадью подложки филамента, являющейся основным конструктивным элементом для отвода тепла, большой плотностью размещение светодиодных кристаллов на подложке и ограниченностью охлаждения методом конвекции. Эти проблемы приводят к перегреву светодиодного излучающего элемента (СИЭ). Отсюда возникает задача исследования конструкции излучающего элемента для улучшения теплоотвода от полупроводниковых кристаллов. Для решения этой проблемы применяют различные методы, в том числе тепловое моделирование.

Целью работы является оценка возможности применения диэлектрического материала на основе наполненных полиалюмосиликатов (ПАС) в качестве клеевого теплопроводящего покрытия для основания светодиодного излучающего элемента.

ПАС обладает высокой теплопроводностью равной 131 Вт/м·К, в то время как теплопроводность лучших теплопроводящих клеев и паст не превышает 9 Вт/м·К. Для достижения поставленной цели было решено использовать тепловое моделирование методом конечно-элементного анализа, реализованного в программе ANSYS AIM 18.1. Моделируемая конструкция СИЭ представляет собой основание с размерами 40×1×1 мм, на котором приклеены на ПАС полупроводниковые кристаллы планарного типа GaN. Конструкция окружена люминофорной композицией.

В программе ANSYS была построена тепловая модель СИЭ с нанесённым на его основание теплопроводящим покрытием на основе ПАС, вместо используемых в существующих технологиях изготовления СИЭ клеев. Также, для сравнения, была построена модель СИЭ с классической конструкцией. Полученные результаты моделирования подтвердили эффективность использования наполненных ПАС в качестве клеевого теплопроводящего покрытия.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-11018\19.

А.Ю. Хомяков, К.Н. Афонин, асп.; рук. А.А. Иванов, к.х.н. (ТУСУР, г. Томск)

ПРИМЕНЕНИЕ НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИАЛЮМОСИЛИКАТОВ В КАЧЕСТВЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЛОЕВ В КОНСТРУКЦИИ МОДУЛЕЙ ГОЛОВНОГО СВЕТА АВТОМОБИЛЕЙ, ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕОБХОДИМОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА

В современном обществе автомобильный транспорт является неотъемлемой частью жизни каждого человека и должен обеспечивать мобильность человека, а так же безопасность в любую погоду и в любое время суток, как для водителя и пассажиров, так и для пешеходов. В наши дни тяжело найти электронное устройство, в конструкции которого не было бы полупроводниковых наногетероструктур, в частности, светодиодов. Светодиодные источники света имеют ряд преимуществ перед традиционными источниками света, применяемыми в автомобильных транспортных средствах, такие как: энергоэффективность, меньшее тепловыделение, повышенный коэффициент цветопередачи и т.д.

Несмотря на энергоэффективность светодиодных источников света, при разработке модулей головного света автомобилей, перед конструкторами стоит сложная задача отвода тепла относительно большого количества тепла с относительно небольшой площади светоизлучающего элемента.

Целю работы является исследование возможности применения наполненных полиалюмосиликатов (НПАС) в качестве диэлектрических слоев в конструкции модулей головного света автомобилей, для обеспечения необходимого температурного режима светодиодных источников света.

Конструкция разрабатываемого светодиодного модуля головного света включает в себя корпус фары, светодиодный источник света, радиатор, вторичную оптику и блок питания. В свою очередь, светодиодный источник света приклеивается на радиатор на НПАС.

Предложенная технология приклеивания кристалла состоит в нанесении НПАС методом 3D аэрозольной печати на 3D принтере фирмы Neotech AMT марки Aerosol Jet 15EX непосредственно на алюминиевый радиатор, что позволяет устанавливать и коммутировать высокомощные светодиоды и светодиодные кристаллы непосредственно на нанесенное керамическое покрытие, без использования печатных плат и различных термоинтерфесов и позволяет обеспечить коэффициент теплопроводности на уровне 131 Вт/(м·К).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-11018\19.

А.Ю. Хомяков, К.Н. Афонин, асп.; рук. А.А. Иванов, к.х.н. (ТУСУР, г. Томск)

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ КЕРАМИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИАЛЮМОСИЛИКАТОВ ПРИМЕНЯЕМЫЙ ДЛЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЛОЕВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОМ ОСНОВАНИИ

Эффективная разработка изделий микроэлектроники на базе многофункциональных материалов осуществима при условии создания полимерных композиционных материалов нового поколения. При эксплуатации таких изделий главная проблема заключается в отведении тепла. Актуальность создания материалов, обладающих высокой теплопроводностью, устойчивостью к высоким температурам и их значительным перепадам, глубокому вакууму и высоким давлениям, с ростом активности человека становится всё более злободневной.

Целью работы является получение низкотемпературного композиционного материала с последующим формированием керамических слоев на алюминиевых основаниях методом 3D-печати.

Современным и доступным методом создания функциональных и конструкционных материалов в настоящее время является золь-гель технология, позволяющая на стадии синтеза управлять химической природой материала, тем самым задавая необходимые свойства готовым композитам. Для синтеза полиалюмосиликатов (ПАС) с целью получения наполненных материалов специального назначения были выбраны кремниевые кислоты и нитрат алюминия в качестве исходных реагентов для формирования дендримерных ансамблей ПАС. Формирование проводили в три стадии: I стадия — растворение кремниевых кислот при pH > 7; II стадия — гидролиз нитрата алюминия; III стадия — неглубокая поликонденсация с образованием гель-прекурсора из олигокремниевых кислот и O_3N-Al- $(OH)_2$.

Получение керамических покрытий на алюминиевых поверхностях осуществляли методом 3D аэрозольной печати полученного композиционного керамического материала на основе полиалюмосиликата на 3D принтере фирмы Neotech AMT марки Aerosol Jet 15EX. В процессе 3D печати изучено влияние процессов генерации аэрозолей на поликонденсационные процессы, а также изучены процессы гелеобразования на их начальной стадии.

Полученные образцы использованы в качестве заготовок печатных плат на металлическом основании.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-11018\19.

Секция 10.
БИОМЕДИЦИНСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель секции — Крамм Михаил Николаевич
Секретарь секции — Стрелков Николай Олегович

А.Ю. Бойко, студ. (НИУ «МЭИ»), А.А. Плясова студ. (г. Москва, РХТУ им. Д.И. Менделеева); рук. Г.В. Жихарева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР МОНТАЖНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОДОВ ЭЭГ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время электроэнцефалография (ЭЭГ) широко используется в нейропсихофизиологии при изучении головного мозга [1].

Цель настоящей работы — выбор монтажной схемы электродов при исследовании чувствительности алгоритма реконструкции характеристик эквивалентного дипольного источника (ЭДИ) электрической активности головного мозга [2] к когнитивной нагрузке в виде краткосрочного предъявления испытуемым визуальных стимулов [3].

Для регистрации ЭЭГ-потенциалов в работе использовался электроэнцефалограф NVX 24. В ходе эксперимента с синхронной записью ЭЭГ испытуемым предъявлялись визуальные стимулы — серия из 20–25 изображений. По окончании серии фиксировался факт восприятия или невосприятия каждого изображения. Затем с помощью алгоритма реконструкции ЭДИ проводилось восстановление картины активности головного мозга в моменты предъявления визуальных стимулов. Для статистики в работе использовались ЭЭГ-сигналы пяти человек, по три измерения из 10 серий для каждого. При этом были использованы поперечная биполярная, продольная биполярная и референтная монтажная схема электродов. Критерием оценки чувствительности алгоритма являлись различия в локализации источников активности головного мозга при осознании и неосознании визуального стимула.

В результате проведенной работы было установлено, что референтная схема монтажа является наиболее предпочтительной для дальнейших исследований, поскольку позволяет выявить максимальные различия в локализации источников при осознании и неосознании визуального стимула.

Литература

1. **Гнездицкий В.В.** Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография. М.: МЕДпресс-информ, 2004.
2. **Бойко А.Ю.** Исследование алгоритмов реконструкции эквивалентного дипольного источника электрической активности головного мозга. // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. XXV МНТК студентов и аспирантов. М.: Издательский дом МЭИ, 2019. С. 153.
3. **Юматов Е.А., Потапова О.В., Потапов В.Ю., Глазачев О.С., Раевский В.В.** Экспериментальная модель для выявления в электроэнцефалограмме психической деятельности мозга. // Процедуры и методы экспериментально-психологических исследований: Сборник статей. Институт психологии РАН, 2016. С. 309–314.

И. А. Сукач, студ.; рук. В. С. Фланден, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СОЗДАНИЕ ПРОТОТИПА МОБИЛЬНОЙ ВЕРСИИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФА

В течение последнего десятилетия создан многочисленный ряд работ по исследованию физиологии человека. Все лучше и лучше исследуют организм человека, головной мозг не является исключением. Проведя анализ публицистических работ по теме исследования головного мозга человека за последние семь лет, можно обнаружить резкий рост количества научных работ по теме исследования ЭЭГ и предсказания некоторых приступов различного типа (к примеру, эпилепсия, инсульт и т.д.). В большинстве этих трудов используется относительно крупногабаритное оборудование для электроэнцефалограммы. В нем требуется не менее 16 электродов, чаще всего 64, что является затруднением для использования данного вида мониторинга в экстренных случаях, когда необходима мобильность.

Запись ЭЭГ широко применяется в диагностической и лечебной работе (особенно часто при эпилепсии), в анестезиологии, а так же при изучении деятельности мозга, связанной с реализацией таких функций, как восприятие, память, адаптация и т.д.

В ходе данной работы было принято решение о создании прототипа мобильной версии электроэнцефалографа с целью уменьшения габаритов аппарата и оптимизации конфигурации системы обработки ЭЭГ сигнала при умственной работе и утомлении. Для достижения этой цели исследуются различные платформы для аппаратной реализации. Одной из таких платформ был выбран Arduino. Были рассмотрены возможности и выявлены недостатки Arduino для поставленной цели, выработаны рекомендации по их устранению. Так же разработано тестовое программное обеспечение, которое включает в себя анализ и статистическую обработку данных. Разрабатываемый прототип планируется использовать для отработки различных алгоритмов обработки ЭЭГ сигналов.

В дальнейшем планируется разработать несколько адаптационных моделей для исследования коэффициента усталости. На основе созданного прототипа будет подобрана оптимальная компонентная база, расположение датчиков для биопотенциалов и апробация алгоритмов [1].

Литература

1. **Сергеев Г.А., Павлова Л.П., Романенко А.Ф.** Статистические методы исследования электроэнцефалограммы человека. — 1968, изд-во «Наука», Л., 208 с.

Л.С. Иванова, студ.; рук-ли Д.В. Леонов, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»);
Н.С. Кульберг, к.ф.-м.н. (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕДИЦИНСКОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ МИНЕРАЛЬНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Твёрдые минеральные включения (ТМВ) — камни, плотные тела, свободно лежащие в полостях органов или образовавшиеся в мягких тканях [1–3]. Примером таких включений являются микрокальцинаты молочной железы. Микрокальцинаты встречаются в 40% злокачественных образований, в 55% случаев — это непальпируемые опухоли молочной железы [4]. Для диагностики ТМВ широко применяется ультразвуковое исследование (УЗИ), но существуют объективные факторы, снижающие эффективность УЗИ в подобных задачах, поэтому разработчики ищут пути улучшения технологии, пытаются создать специализированные диагностические системы УЗИ [1–3].

Целью работы являлась совершенствование ультразвуковой медицинской системы, предназначенной для диагностики ТМВ.

Такая система важна для диагностики мочекаменных, онкологических и др. заболеваний. Так, обнаружение при УЗИ микрокальцинатов позволит выявлять рак молочной железы на доклинической стадии, когда прогнозы выживаемости наиболее оптимистичны.

В ходе работы изготавливались тестовые объекты с ТМВ, выполнялись эксперименты, в результате которых произведена доработка алгоритмов визуализации и разработан блок регулировки пороговых значений особой диагностической системы.

Результаты работы могут быть полезны разработчикам медицинских приборов и студентам.

Литература

1. **Леонов Д.В.** Ультразвуковая медицинская диагностическая система на основе доплеровского мерцающего артефакт// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/ Москва. 2019.
2. **Леонов Д.В., Кульберг Н.С., Громов А.И., Морозов С.П., Владзимирский А.В.** Режим обнаружения твердых минеральных включений при акустической визуализации// Акустический журнал. 2018. №5. С. 618–631.
3. **Леонов Д.В., Кульберг Н.С., Фин В.А.** Исследование мерцающего артефакта на фантоме в режиме цветового доплеровского картирования. // ИУСА: Труды IV ВНКМУ с международным участием. Т. II. Тверь: ТГТУ, 2016. С. 44–51.
4. **Оксанчук Е.А., Меских Е.В., Колесник А.Ю., Нуднов Н.В**. Кальцинаты молочной железы: дифференциальная диагностика и прогностическое значение// Медицинская визуализация 2016 №5. С. 120–127.

А.А. Королева, студ.; рук. Д.В. Леонов, к.т.н.
(НИУ «МЭИ» и ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КРОВОТОКА В АНЕВРИЗМЕ

Аневризма разрывается тогда, когда прочность стенок сосуда оказывается недостаточной. Было бы прекрасно, если бы можно было измерить прочность стенок и силы, воздействие которых приводит к повреждению сосуда. Но достоверно померить получается только геометрические размеры сосуда или аневризмы. Поэтому численные методы, используемые в исследовании аневризм, вынуждены основываться на предположениях о характеристиках тканей и жидкости, а не на индивидуальных измерениях, что сильно ограничивает достоверность моделирования [1–3].

Целью работы является исследование возможностей компьютерного моделирования в задачах анализа развития аневризм и предсказания их разрыва.

В работе сравниваются модель, идеализирующая кровь однофазной жидкостью с постоянной вязкостью, и модель для неньютоновской жидкости, динамическая вязкость которой связана со скоростью сдвига; анализируется влияние характеристик стенок сосуда на распределение скорости кровотока. Скорость входного потока меняется по кривой, полученной после обработки сигналов ультразвукового прибора в доплеровском режиме [4].

Моделирование и анализ результатов моделирования кровотока в аневризме проведены в универсальной программной системе конечно-элементного анализа ANSYS.

Результаты работы могут быть полезны врачам и разработчикам медицинских приборов.

Литература

1. **Robertson A.M.** Computational Fluid Dynamics in Aneurysm Research: Critical Reflections, Future Directions// AJNR. 2012. №33. P. 992–995.
2. **Крылов В.В., Природов А.В., Архипов И.В., Гаврилов А.В., Григорьева Е.В., Ганин Г.В., Ятченко А.М.** Моделирование гемодинамических изменений в артериях и артериальных аневризмах головного мозга при сосудистом спазме// Нейрохирургия. 2013. №4. С. 16–25.
3. **Campo-Deaño L., Oliveira M.S. N., Pinho F.T.** A Review of Computational Hemodynamics in Middle Cerebral Aneurysms and Rheological Models for Blood Flow// ASME. Appl. Mech. Rev. 2015. №67 C. 030801. https://doi.org/10.1115/1.4028946.
4. **Леонов Д.В., Кульберг Н.С., Фин В.А.** Основные алгоритмы режима цветового доплеровского картирования кровотока ультразвукового медицинского диагностического устройства// Материалы международной НТК «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения» — М.: МИРЭА. 2016. Т. 5. С. 42–44.

Н.А. Лысенко, студ.; рук-ли Д.В. Леонов, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»);
Н.С. Кульберг, к.ф.-м.н. (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ И МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АНЕВРИЗМ

Аневризмы могут представлять непосредственную угрозу жизни человека, причём одними из наиболее опасных считаются аневризмы брюшной аорты. Долгое время они могут существовать бессимптомно, а их разрыв приводит к сильнейшему кровотечению, в 40% случаев заканчивающемуся летальным исходом. Распространенность аневризм диаметром 2,9–4,9 см составляет от 1,3% среди мужчин в возрасте 45–54 лет до 12,5% среди мужчин 75–84 лет. Распространенность заболевания среди женщин значительно ниже (менее 5,2%) [1].

В докладе обсуждаются и сравниваются магнитно-резонансные (МР) и ультразвуковые (УЗ) методы исследования кровотока и состояния стенок сосудов, используемые для прогнозирования разрыва аневризмы.

МР ангиография является высокоинформативной и динамично развивающейся технологией неинвазивной диагностики сосудов. Она основана на явлении резонанса протонов водорода в магнитном поле и наиболее известна в трёх видах: времяпролетная, фазоконтрастная, с контрастным усилением [2].

УЗ ангиография представлена непрерывно-волновым и импульсным доплеровскими режимами, режимом цветового доплеровского картирования, режимом векторного потока, B-flow и пр. [3–5].

Каждый из режимов и видов УЗ и МР ангиографии обладает достоинствами и недостатками, осознание которых полезно врачам и студентам медико-технической направленности.

Литература

1. **Бокерия Л.А.** Аневризмы брюшной аорты: клинические рекомендации. Москва. 2016. С. 38.
2. **Тютин Л.А., Яковлева Е.К.** Магнитно-резонансная ангиография: этапы развития, диагностические возможности и ограничения// Медицинская визуализация. 2013. №2. С. 29–40.
3. **Гукасов В.М.**, **Леонов Д.В., Фин В.А.** Используемые информационные технологии и принципы построения ультразвуковых медицинских диагностических устройств (УЗМДУ) // Медицина и высокие технологии. 2015. №4. С. 29–36.
4. **Леонов Д.В., Фин В.А.** Концепция разработки современного отечественного ультразвукового медицинского диагностического устройства экспертного класса нового поколения// Биомедицинская радиоэлектроника. 2014. №1. С. 59–62.
5. **Леонов Д.В., Фин В.А., Гукасов В.М.** Современное состояние и тенденции развития ультразвуковых медицинских диагностических устройств (УЗМДУ)// Медицина и высокие технологии. 2014. №3. С. 8–13.

А.А. Дергачев, студ.; рук-ли. Е.В. Шалимова, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ») Г.Н. Сенаторов, (ГБОУ Школа №1359)

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ТРЕНИРОВКИ ГНОСТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ЧЕЛОВЕКА

Цель работы — создание устройства для определения психического состояния человека в конкретный момент. Сегодня усилились нагрузки на нервную систему человека, что привело к необходимости контроля за психическим и психофизиологическим здоровьем человека. Одним из эффективных средств такого контроля являются психофизиологические методы обследования, позволяющие оценивать изменения на целостном поведенческом уровне [1, 2].

Разработанное устройство позволяет измерять, исследовать и тренировать ряд познавательных функций человека: кратковременную память, чувство временных интервалов, скорость реакции. Полученные данные можно соотнести с нейропсихическими характеристиками человека: темпераментом, готовностью к быстрой мобилизации, утомляемостью/истощаемостью нервной системы, умением ориентироваться во времени. Устройство может применяться в различных отраслях: биофизике, психологии, социологии, здравоохранении, спорте.

Устройство работает на базе микроконтроллера Atmega328 [3, 4]. Для вывода информации используется 4 разрядный цифровой дисплей. Для ввода информации на корпусе устройства устанавливаются 3 кнопки. Каждой кнопке соответствует светодиод своего цвета для индикации. На корпус установлен USB разъем для подзарядки встроенного аккумулятора, одновременно являющийся и интерфейсом для загрузки программного обеспечения. Питание устройства осуществляется с помощью аккумулятора или от внешнего источника питания постоянного напряжением 5 вольт через разъем USB.

Литература

1. **Матвеев Е.В.** Приборы и комплексы для психофизиологических исследований высшей нервной деятельности человека в норме и патологии // Международная конференция по биомедицинскому приборостроению. Москва, 1996. Электронная публикация: https://mks.ru/library/text/biomedpribor/96/section4. htm#t[2]
2. **Дятлов М.Н.** Приборы психофизиологического обследования водителей // Молодой ученый. 2013. №4. С. 59–61. // Электронная публикация: https://moluch.ru/archive/51/6579/
3. Аппаратная часть платформа Arduino. // Электронная публикация: http://arduino.ru/.
4. Уроки и проекты для Arduino. Электронная публикация. Режим доступа: https://lesson.iarduino.ru/.

И.С. Семёнов, студ.; рук. С.А. Чеченя, асс. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ НАХОЖДЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ

Электрическая активность головного мозга человека регистрируется в виде биомедицинских сигналов в виде электроэнцефалографии (ЭЭГ). Электрическая активность головного мозга имеет стохастический характер, что затрудняет ее анализ. Тем не менее, существует альтернативное объяснение нерегулярного поведения наблюдаемых сигналов. С точки зрения теории хаоса случайное поведение может возникать в детерминированных динамических системах с несколькими степенями свободы. Таким образом, предполагается наличие в сигнале ЭЭГ фрактальной структуры, характеризуемой самоподобием и дробной размерностью [1]. Понятие фрактальная размерность D было введено как индекс, описывающий сложность временной последовательности. Она обладает следующим свойством: каждая часть этой кривой может быть рассмотрена, как уменьшенный в масштабе образ целой кривой. Таким образом, D можно определять не на целой ЭЭГ последовательности, а по частям, на которых условие фрактальной кривой выполняется [2].

В данной работе было произведено разбиение ЭЭГ записи на короткие участки. Далее для каждого из них были найдены полезные для исследовательских целей фрактальные параметры тремя алгоритмами: подсчета ящиков, Каца и Хигучи. Помимо D, также были найдены немаловажные показатели фрактальной структуры ЭЭГ сигнала, такие как индекс Херста H, и показатель степени экспоненты β. На следующем этапе были стерты границы между соседними сегментами с «равными» фрактальными параметрами и в результате было получено разбиение ЭЭГ пробы на стационарные сегменты. Результаты работы показали, что алгоритм Хигучи дал наиболее точные оценки фрактальной размерности. А алгоритм Каца и метод подсчета ящиков, напротив, показали нелинейный тренд с большой недооценкой фрактальной размерности.

Литература

1. **Monica Cusenza.** Fractal analysis of the EEG and clinical applications. Anno Accademico, Trieste, Italy, 2012. 115 p.
2. **Вассерман Е.Л., Карташев Н.К., Полонников Р.И.** Фрактальная динамика электрической активности мозга. — Санкт-Петербург.: Наука, 2004. — 208 с.

М.Г. Лафицкова, А.С. Никитина, студ.;
рук. Т.В. Истомина, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

НЕЧЕТКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕСТА РОМБЕРГА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ВЕРИФИЦИРОВАННОЙ БАЗЫ

Различные нарушения функции равновесия приводят не только к ухудшению качества жизни человека, но и ограничивают его профессиональную деятельность, что может быть причиной временной или постоянной нетрудоспособности [1]. Диагностику функции равновесия и тестирование с применением БОС позволяет проводить стабилометрия [2, 3].

Использованная в работе методика исследования заключается в статистическом анализе стабилометрических параметров теста Ромберга (среднее положение центра давления, площадь статокинезиограммы, коэффициент LFS, коэффициент Ромберга) относительно существующих норм, а также в выявлении влияния физиологических и когнитивных факторов. Так, проводились тесты в двух режимах: с открытыми и закрытыми глазами в европейской стойке на стабилоплатформе ST-150 здоровых студентов НИУ МЭИ и студентов МГГЭУ с патологиями (ДЦП).

В результате создана верифицированная база данных в программе MSAccess, где сформированы статистические нормативы параметров и оценена эффективность методик реабилитации. Для построения алгоритма классификации стабилометрических показателей в пакете MATLAB использована теория нечеткой логики. Оценивались следующие параметры:

$$КПСК = \frac{КНБ}{5},\ t = \frac{70}{2 \cdot КПСК},\ \nu = \frac{60}{t},$$

где *КПСК* — количество правильно отмеченных символов, t — время движения до символа (время реакции), *КНБ* — количество набранных баллов, ν — средней скорости реакции.

В целом исследования подтвердили, что стабилометрия является перспективной методикой, не требующей значительных материальных и временных затрат. В дальнейшем необходимо расширить выборку и типологию заболеваний, что увеличит эффективность нечеткой классификации.

Литература

1. **Скворцов Д.В.** Стабилометрическое исследование: краткое руководство/ Д.В. Скворцов — М.: Маска, 2010. — 172 с.
2. **Гаже П.-М., Вебер Б.** Постурология. Регуляция и нарушения равновесия тела человека. Автор. Гаже П.-М. Вебер Б. Издательство. СПбМАПО. Год. 2008.
3. **Мостовой Л.Я.** Компьютерная стабилометрия в диагностике и комплексной оценке двигательных нарушений при дисциркулярной энцефалопатии у больных пожилого возраста: Автореферат, 2004 — 24 с.

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

РЕКОНСТРУКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСОГО ГЕНЕРАТОРА СЕРДЦА НА СФЕРИЧЕСКОМ КВАЗИЭПИКАРДЕ ПО РЕАЛЬНЫМ ЭКС

Реконструкция распределения эквивалентного генератора сердца (ЭЭГС) на поверхности эпикарда позволяет получить карту электрической активности сердца для различных моментов времени кардиоцикла, предоставляя врачу более детальную информацию по сравнению с картами потенциала на поверхности торса.

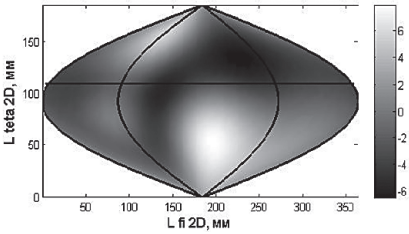


Рис. 1. Полярный разворот потенциала на поверхности сферического квазиэпикарда

Электрокардиосигналы (ЭКС), снимаются с системы электродов, расположенных на поверхности торса [1]. После загрузки ЭКС в программу, выполняя процесс интерполяции и реконструкции, мы формируем карты потенциала и нормальной производной потенциала на сферической поверхности, окружающей эпикарда (сферический квазиэпикард). Повторяя реконструкцию для выбранных отсчетных моментов кардиоцикла, мы получаем динамические 2D и 3D карты ЭЭГС, отражающие изменение электрической активности сердца со временем в режиме анимации.

На рис.1 приведен пример 2D распределения потенциала на поверхности сферического квазиэпикарда в момент времени, соответствующий вершине *R*-зубца кардиоцикла. Длины дуг при угловой развертке поверхности квазиэпикарда откладываются в мм; величина потенциала отражается в полутоновой палитре (масштаб шкалы дан в мВ). Центральная область развертки соответствует левому желудочку и левому предсердию. Распределение на рис.1 в целом отражает дипольную структуру ЭЭГС. 2D развертка поверхности эпикарда позволяет наблюдать распределение электрической активности сразу во всех точках поверхности сердца.

Литература

1. **Крамм М.Н.** Анализ влияния выбора количества электродов на карты распределения электрического потенциала на поверхностях торса и квазиэпикарда. //Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. — 2019. №. 3 (33). С. 61–68.

А.С. Бастрыгин, студент.; рук. М.Н. Крамм, к.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)

РЕКОНСТРУКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА СЕРДЦА НА ТРИАНГУЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЭПИКАРДА

Реконструкция распределения эквивалентного электрического генератора сердца (ЭЭГС) на поверхности эпикарда позволяет получить карту электрической активности сердца для различных моментов времени кардиоцикла, а по ней уже и информацию о его патологиях, не прибегая к инвазивным действиям. Электрокардиосигналы снимаются с системы электродов, расположенных на поверхности торса [1]. После загрузки ЭКС в программу, мы интерполируем потенциал на торсе, аппроксимируемым эллиптическим цилиндром, после чего выполняем реконструкцию карт потенциала и нормальной производной потенциала на поверхности триангуляционной модели эпикарда. Решая данную задачу для нескольких выбранных моментов кардиоцикла, мы получаем помимо статических карт ЭЭГС еще и динамические, которые отражают изменение активности сердца со временем. Расчеты выполнялись для кардиосигналов системы из 48 электродов, интерполяция потенциалов проводилась в 3200 точках на поверхности торса, триангуляционная реалистичная модель эпикарда содержит 1584 граничных элементов поверхности.

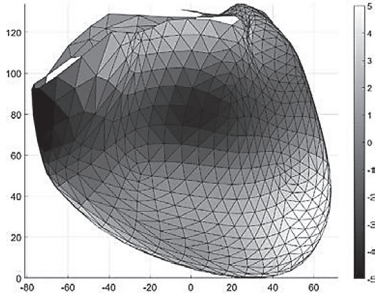


Рис. 1. Карта потенциалов на эпикарде для момента вершины R-зубца

На рис. 1 приведен пример распределения потенциала на поверхности эпикарда во фронтальной плоскости в момент времени, соответствующий вершине *R*-зубца кардиоцикла. Размеры откладываются в мм; величина потенциала отражается в полутоновой палитре (масштаб шкалы в мВ). Распределение на рис. 1 в целом отражает дипольную структуру ЭЭГС.

Литература

1. **Крамм М.Н.** Анализ влияния выбора количества электродов на карты распределения электрического потенциала на поверхностях торса и квазиэпикарда. //Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. — 2019. №. 3 (33). С. 61–68.

Секция 11.
РАДИОСИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ И СВЯЗИ

Председатель секции — Куликов Роман Сергеевич
Секретарь секции — Захарова Елена Владимировна

Д.Д. Малафеева, студ.; рук. И.А. Нагин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ТОЧНОСТЬ КОМПЕНСАЦИИ УГЛА НАКЛОНА ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ВЕХИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПЛЕКСИРОВАННОГО ГНСС-ПРИЕМНИКА

В задачах геодезии для высокоточного определения координат объектов применяется метод RTK (от англ. Real Time Kinematic — кинематика в реальном времени). При наличии действующей базовой ГНСС-станции, приёмник получает от неё навигационные поправки, что позволяет достичь сантиметровой точности в определении координат.

Одно из применений метода RTK в геодезии — измерение координат целевой точки при помощи геодезической вехи и установленном на ней приемнике ГНСС. Конец вехи устанавливается на целевую точку, в то время как приемник измеряет координаты фазового центра антенны, расположенной на другом конце. В отсутствие наклона вехи, координаты целевой точки равны координатам антенны, а высота меньше на известную длину.

При наличии наклона вехи необходимо знать углы её ориентации для пересчета измерений приемника в целевую точку. Углы ориентации можно определить с помощью алгоритма комплексирования измерений приемника ГНСС и инерциального измерительного блока МЭМС класса [1]. Ошибки оценивания углов ориентации влияют на точность пересчета измерений.

Разработан алгоритм, позволяющий оценить зависимость величины ошибки оценивания координат целевой точки от угла наклона вехи при заданных погрешностях алгоритма оценивания углов ориентации вехи. Для сравнения приведены данные Leica [2].

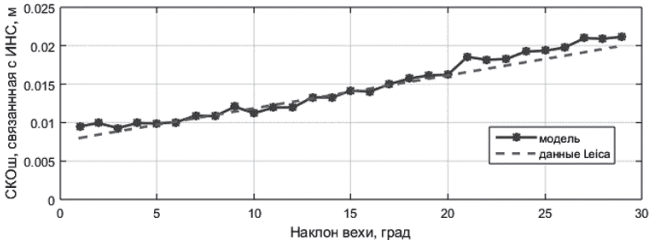


Рис. 1. Зависимость СКОш определения координат целевой точки от угла наклона вехи

Литература

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова — Изд. 4-е, перераб. и доп. — М.: Радиотехника, 2010. — 800 с.
2. Dr. X. Luo, S. Schaufler, B. Richter. Leica GS18T — World's Fastest GNSS RTK Rover (White Paper). — Leica Geosystems AG, Switzerland, 2018. — 20 pp.

А. Митич, Е.Д. Сушилина, студенты;
рук. А.Ю. Сизякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ ПРИЕМА СИГНАЛА ММС НА ФОНЕ ИМПУЛЬСНОЙ ПОМЕХИ

В 21 столетии все больше радиоэлектронной аппаратуры располагается на небольших расстояниях, и одной из важнейших проблем является электромагнитная совместимость на фоне внешних помех. В работе проведен анализ влияния импульсной радиопомехи на помехозащищённость радиосистемы передачи информации (РСПИ) с модуляцией с минимальным сдвигом (ММС). Для решения этих задач в среде программирования MATLAB построены цифровые модели РСПИ, работающей с сигналом ММС [1]. Импульсная радиопомеха определенна параметрами: A — амплитуда, τ — длительность импульса, T — период повторения, f — частота заполнения. Проведен анализ влияния данной помехи на реализации сигнала в разных точках схемы приемника и помехоустойчивость системы в общем [2]. Выводы анализа:

1) При увеличении амплитуды A коэффициент ошибок BER быстро увеличивается до некоторого значения, и после достижения этого значения дальнейшее увеличение амплитуды вызывает медленное возрастание вероятности битовой ошибки BER. Наблюдается режим, который можно назвать «насыщением по помехе».

2) При фиксированной длине импульса τ помехи на входе приемника по мере роста амплитуды A увеличивается длительность «спада» (заднего фронта) импульса на выходе полосового фильтра (ПФ) на входе демодулятора, оказывающего значительное влияние на прием последующих символов, что может искажать больше символов сигнала. Это означает что режим «насыщения по помехе», т.е. медленное увеличение BER с ростом амплитуды A, будет достигаться, когда почти вся часть «спада» огибающей импульсной радиопомехи на выходе ПФ превышает граничный уровень. Протяженность «спада» зависит от характеристик ПФ и длительности τ импульсов помехи на его входе. Расширение импульса на выходе ПФ относительно его длины на входе больше для коротких импульсов τ.

Литература

1. **Milić Lj, Dobrosavljević Z.** Uvod u digitalnu obradu signala. — M.: Akademska misao, 2009.
2. **Dukić M. L.** Principi telekomunikacija. — M.: Akademska misao, 2008.

К.А. Тихонов, студ.; рук. И.А. Нагин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНИВАНИЕ ОРИЕНТАЦИИ КАМЕРЫ ПО ОБЛАКУ ОСОБЫХ ТОЧЕК ПРИ ПОМОЩИ ГНСС-ПРИЕМНИКА

Одним из перспективных направлений развития навигационных систем является создание комплексированных навигационных систем, в которых совместно обрабатываются информация с НАП СРНС и различных датчиков [1]. Направление, которое занимается обработкой данных с видеодатчиков, называется компьютерным зрением.

Компьютерное зрение занимается множеством задач от распознавания изображений до реконструкции 3D сцены и навигации по ней. Для навигации наибольший интерес представляет технология SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) — оценка положения и параметров движения камеры с одновременным построением карты особых точек [2].

Использование измерений НАП при оценке положения и параметров движения камеры позволит повысить надежность локализации и привязать карту особых точек в глобальной системе координат. Взаимодополняющие свойства двух систем — компьютерного зрения и НАП СРНС позволяют ожидать повышения характеристик и достоверности оценок комплексированной системы.

Рис. 1. СКОш углов ориентации камеры

Целью данной работы является создание имитационной модели в среде Matlab, которая оценивает ориентацию движущейся и вращающейся камеры по известным координатам особых точек на двумерном изображении и в трехмерном пространстве и координатам камеры в трехмерном пространстве с заданными погрешностями.

На рис. 1 представлены зависимости СКОш углов крена, тангажа и рыскания, полученные в результате моделирования. СКО шума наблюдения 10 пикселей, СКО определения координат особых точек 0.05 м. Результаты показывают, что к 48 секунде СКОш составляет 0.25 градуса.

Литература

1. **Перов А.И., Харисов В.Н.** ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. М.: Радиотехника, 2010.
2. **Davison A.J., Reid I.D., Molton N.D., Stasse O.** MonoSLAM: Real-Time Single Camera SLAM. – IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, VOL. 29, NO. 6, JUNE 2007.

В.С. Черный, студ.; рук. А.Ю. Абраменко, к.т.н., доц. (ТУСУР, Томск)

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛА С QPSK МОДУЛЯЦИЕЙ

В настоящее время активно используются фазоманипулированные сигналы, в частности, сигналы с QPSK модуляцией [1]. При распространении данного вида сигналов возникают искажения (смещение частоты несущего сигнала, временная задержка, смещение начальной фазы несущего сигнала, постоянное смещение действительной и мнимой компонент сигнала, рассогласование амплитуды действительной и мнимой компонент сигнала в каналах), которые необходимо оценивать для их компенсации и определения качества передающих и приёмных устройств.

В данной работе описан алгоритм и приведены погрешности оценки ранее указанных видов искажений по ограниченной выборке сигнала. В качестве входного сигнала используется дискретизированный сигнал с QPSK модуляцией, отсчёты которого взяты с частотой в четыре раза превышающей частоту следования символов. Погрешности и максимальные значения оцениваемых величин измерялись при отсутствии других видов искажений в сигнале длиной 8000 отсчётов и отношении сигнал/шум 70 дБ. За погрешность взято максимальное значение из 100 измерений.

Таблица 1. Зависимость максимального значения оцениваемого параметра и погрешности его оценки

Оцениваемый параметр	Смещение частоты несущей, относительно частоты дискретизации	Смещение начальной фазы несущего сигнала, градуса	Временная задержка, отсчётов	Постоянное смещение действительной или мнимой компоненты, %	Рассогласование амплитуд сигнала в каналах, дБ
Максимальное значение параметра	3,1249 %	Любое	Любое	25	3
Погрешность оценки параметра	1×10^{-9} раз	0,0003	0,005	0,1	0,008

Алгоритм был опробован для оценки параметров QPSK сигнала с частотой следования символов 10 МГц, записанного с осциллографа. Погрешность оценки частоты составила 4×10^{-9} раз, постоянного смещения 0,3 %, рассогласования амплитуды 0,0068 дБ.

Литература

1. **Голиков А.М.**Модуляция, кодирование и моделирование в телекоммуникационных системах. Теория и практика.М.: Лань, 2018.

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

ВВЕДЕНИЕ ПСЕВДОПИЛОТНОЙ КОМПОНЕНТЫ В НАВИГАЦИОННЫЙ СИГНАЛ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СЛЕЖЕНИЯ В КОГЕРЕНТНОМ РЕЖИМЕ

Одним из важнейших параметров навигационных приемников является чувствительность, в частности — чувствительность слежения в когерентном режиме. Для повышения этого показателя современные навигационные сигналы делают двухкомпонентными: информационная компонента используется для передачи данных, а пилотная компонента — для улучшения характеристик слежения. Но при таком подходе мощность передатчика делится пополам между компонентами, а для обработки сигнала требуются несколько корреляционных каналов.

В работе предложена концепция псевдопилотной компоненты, и приведен метод уплотнения этой компоненты с информационной. Посредством моделирования демонстрируется, что предлагаемый метод позволяет получить преимущества двухкомпонентного сигнала, нивелировав его недостатки: улучшить отношение сигнал/шум (рис. 1), при котором система фазовой автоподстройки обеспечивает устойчивое слежение, использовать один канал для обработки всего сигнала, снизить ошибки выделения данных.

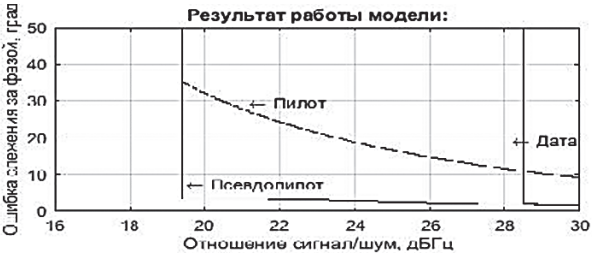


Рис. 1. Зависимость ошибки слежения от отношения сигнал/шум

Литература

1. **ГЛОНАСС.** Принципы построения и функционирования // под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. — Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Радиотехника 2010.
2. **Первачев С.В.** Радиоавтоматика. Учебник для вузов. — М.: Радио и связь, 1982.

А.П. Малышев, студент; А.А. Чугунов, аспирант;
рук. Р.С. Куликов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ РАДИОНАВИГАЦИЯ АВТОМОБИЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ СМАРТФОНОВ

В концепции Интеллектуальных транспортных систем (ИТС) важную роль играет надежность и безопасность. Повышение эффективности и безопасности транспортного процесса — основное направление развития ИТС. Среди большого разнообразия подходов выделяются решения, основанные на добавлении дополнительных бортовых датчиков и сенсоров. Некоторые решения основаны на организации связи между транспортными средствами и совместном использовании измерений [1]. Другие решения требуют модификации дорожной инфраструктуры.

Необходимость в дополнительных внешних устройствах (датчики, сенсоры, бортовые компьютеры, коммуникационное оборудование) является основным препятствием для масштабирования новых технологий безопасности дорожного движения. Однако почти каждый водитель, в частности, в крупных городах, уже имеет и использует смартфон, большинство из которых Android. Но с другой стороны, смартфоны не обеспечивают достаточной точности навигации в stand alone режиме для предупреждения столкновений на дорогах.

Таким образом, если в ИТС организован коммуникационный канал с помощью смартфона между соседними автомобилями, то передача первичных ГНСС измерений между ними позволяет реализовать дифференциальный режим навигации (относительную навигацию), оценивать длину и направление линии базы между автомобилями, предсказывать ее траекторию, исходя из данных о скорости и движении автомобилей.

В докладе представлено использование первичных «сырых» измерений ГНСС приемника смартфона на базе Android для относительного позиционирования транспортных средств. Были проведены эксперименты с несколькими автомобилями, между которыми был организован коммуникационный канал с помощью сети Интернет. Совместные измерения смартфонов проводились непосредственно во время езды в транспортном потоке и использовались для получения оценок относительного позиционирования.

Литература

1. **Müller F.d.P.** Survey on ranging sensors and cooperative techniques for relative positioning of vehicles. — Sensors, vol. 17, no. 2, p. 271, 2017.

Д.Д. Хоанг, студ.; рук. Е.С. Малевич, асс. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ ПРИЕМНЫХ КАНАЛОВ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ КОСИНУСА НАПРАВЛЯЮЩЕГО УГЛА

При разных углах приема возникает разная ошибка измерения направляющего угла. Увеличение ошибки измерения при уменьшении полосы пропускания объясняется уменьшением полезной мощности сигнала при более узких полосах пропускания. Уменьшение же ошибки на малых углах приема объясняется уменьшением декорреляции сигналов [1]. Существует оптимальное значение полосы пропускания, при котором ошибка измерения наиболее равномерна на всех углах приема.

В данной работе получено выражение, иллюстрирующее потенциальную точность измерения для модели сигнала с равномерной спектральной плотностью. Для достижения потенциальной точности измерения косинуса направляющего угла можно использовать компенсирующую задержку, которая исключит ошибки, возникающие на различных углах приема из-за разной задержки принимаемого сигнала. От такого метода зачастую отказываются по причине снижения точности фазовых измерений в связи с нестабильностью характеристик и неточного знания видимой задержки.

Найдено выражение, оценивающее точность измерения косинуса направляющего угла фазовым пеленгатором без компенсирующей задержки в зависимости от выбранной схемы построения приемных каналов во всем диапазоне рабочих углов приема. Получено оптимальное значение полосы пропускания.

Литература

1. **В.И. Винокуров, Р.А. Ваккер** Вопросы обработки сложных сигналов в корреляционных системах.

О. К. Михайлова, студ.; рук. И. В. Корогодин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

АЛГОРИТМ СЛЕЖЕНИЯ ЗА BOC И ALTBOC СИГНАЛАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХ BPSK КОРРЕЛЯТОРОВ

В новых сигналах глобальных спутниковых навигационных систем часто используют модуляцию BOC для повышения потенциальной точности оценки задержки, а также для снижения внутрисистемных и межсистемных помех [1].

BOC сигналы помимо модуляции дальномерным кодом дополнительно модулируются цифровой поднесущей, что приводит к переносу сигнала на суммарную и разностную частоту вокруг несущей. Мощность сигнала с модуляцией BOC (m, n) сосредоточена в двух лепестках, что усложняет его обработку. Однако, вся информация для приема и декодирования такого сигнала содержится в каждом из лепестков, поэтому часто для обработки BOC сигналов используют, так называемые, BPSK-like методы [2]. В этом случае обрабатывается только один лепесток спектра, что позволяет использовать алгоритмы для стандартных BPSK сигналов, но при такой обработке теряется ~3дБ мощности.

Наибольшая производительность достигается за счёт когерентной обработки обоих лепестков спектра. Существует ряд алгоритмов приема сигналов с BOC и ALTBOC модуляцией, используя весь сигнал целиком, но они требуют изменения и усложнения аппаратной части коррелятора [3, 4].

Данный доклад посвящен алгоритму когерентной обработки сигналов с BOC модуляцией. Обработка сигнала осуществляется двумя каналами коррелятора, которые предназначены для приема BPSK сигналов. Это позволяет обрабатывать сигналы с модуляцией AltBOC, в которых в каждом лепестке содержатся различные дальномерные коды, не усложняя структуру отдельно взятого коррелятора.

Литература

1. **Betz J. W.,** Binary Offset Carrier Modulation for Radionavigation, Navigation, Volume 48, pp 227-246, Winter 2001–2002
2. **Wendel J., Schubert F. M., Hager S..** A Robust Technique for Unambiguous BOC Tracking / Proceedings of the 26th International Technical Meeting of the ION Satellite Division, , ION GNSS+2013, Nashville, Tennessee, September 16-20, 2013. — P.3536-3547.
3. **Simsky A. & Sleewaegen, J.-M.**. Experimental and Professional Galileo Receivers, 2015 10.1007/978-94-007-1830-2_12.
4. **Margaria D. & Dovis F. & Mulassano P.** An innovative data demodulation technique for Galileo AltBOC receivers. JOURNAL OF GLOBAL POSITIONING SYSTEMS, 2007, 6. 89-96.

Н.И. Петухов, аспирант; Д.В. Царегородцев, аспирант;
рук. Р.С. Куликов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

СИНТЕЗ И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ТРЕХМЕРНОГО КОМПЛЕКСНОГО РАСШИРЕННОГО ФИЛЬТРА КАЛМАНА НА БАЗЕ ИЗМЕРЕНИЙ ОТ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ И MARG-ДАТЧИКОВ

На сегодняшний день эталоном навигации в открытом пространстве являются глобальные спутниковые навигационные системы. В то же время крайне актуальными являются решения задачи навигации в закрытых помещениях. Злободневность данного вопроса подтверждается ростом числа работ на эту тему и весьма широким диапазоном исследуемых технологий [1].

Несмотря на то, что выбор конкретной системы и технологии для навигации в закрытых помещениях зависит от конкретной задачи, для большинства задач хорошо себя зарекомендовали локальные навигационные системы на базе сверхширокополосных сигналов. Такие системы обладают высокой точностью за счет уменьшения вероятности наложения прямых и отраженных сигналов из-за сверхкоротких длин импульсов.

Для ряда задач помимо отслеживания местоположения потребителя в локальной навигационной системе требуется знать его ориентацию в пространстве, что осуществляется привлечением информации иной природы, например измерений от инерциальных датчиков и магнитометров.

Данный доклад посвящен алгоритму комплексного фильтра Калмана, позволяющему оценивать позицию и ориентацию потребителя в пространстве с помощью совместной обработки радиоизмерений беззапросной локальной сверхширокополосной навигационной системы и измерений MARG-датчиков, включающих в свой состав трехосевые акселерометр, датчик угловых скоростей и магнитометр.

Литература

1. **Curran K., Furey E., Lunney T., Santos J., Woods D., McCaughey A.** “An Evaluation of Indoor Location Determination Technologies”. Journal of Location Based Services. 2011, 5 (2): 61–78.

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

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЙДЕННОГО ЧЕЛОВЕКОМ ПУТИ

В настоящее время возрастает необходимость точного определения параметров движения человека в закрытых помещениях. Решение этой задачи актуально в таких областях как системы контроля производства, для обеспечения работы экстренных служб на аварийных объектах и др.

Задачу расчета параметров движения человека возможно решить, применяя алгоритмы пешеходного счисления пути (от англ. PDR — Pedestrian Dead Reckoning). Пешеходное счисление пути является методом навигации человека в случае отсутствия внешних ориентиров, в котором необходимо учитывать особенности строения двигательного аппарата [1].

В данной работе рассматривается алгоритм счисления пути, основанный на использовании особенности основных форм локомоций человека — ходьбы и бега, которые состоят из чередующихся фаз опоры и движения. Для определения фаз шага используется так называемая тактовая кнопка, которая позволяет определить период времени, в который пятка человека опирается на землю в процессе ходьбы. Определение фаз покоя и априорное знание параметров движения человека в этой фазе позволяют эффективно компенсировать ошибки инерциальных датчиков и точнее рассчитывать пройденный путь.

В ходе работы были решены следующие задачи: 1) составлена модель движения стопы с фиксацией положения ее покоя; 2) обоснован выбор места расположения инерциальных датчиков на теле человека; 3) был разработан алгоритм счисления пройденной человеком дистанции; 4) был реализован экспериментальный стенд; 5) был проведен ряд экспериментов для установления применимости разработанного эксперимента.

В результате экспериментов было показано, что с помощью тактовой кнопки возможно детектировать интервал, соответствующий фазе покоя стопы и корректно оценивать дрейф нулей акселерометра на этом интервале путем усреднения. Предложенный способ оценки дрейфа отличается новизной, так как не описан в открытой источниках литературы.

Литература

1. **Guo Q.** Personal Inertial Navigation System Assisted by MEMS Ground Reaction Sensor Array and Interface ASIC for GPS-Denied Environment // IEEE Journal of Solid-State Circuits. Published, 11/2018.

Направление

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Директор ИВТИ, к.т.н., доцент С.В. Вишняков

Секция 12.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Председатель секции — Вестфальский Алексей Евгеньевич
Секретарь секции — Бирюков Алексей Михайлович

Е.В. Китова, студ., рук.Ю.А. Горицкий, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К УГЛОМЕРНОЙ СИСТЕМЕ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ОРБИТЫ

Решается вопрос о требованиях к угломерной системе, которая обеспечивала бы вполне достоверное решение о том, является ли расстояние Δ от точки падения до наблюдателя, достаточно малым. Наблюдениями *x1, …, xn* являются углы ε(ti), измеренные с ошибками, нормально распределенными и независимыми, причем:

$M(x_i|H_0) = a_i = \varepsilon(\Theta(t_i),p,e,\Delta = 0)$, $M(x_i|H_1) = b_i = \varepsilon(\Theta(t_i),p,e,\Delta^*)$

где *(p, e)* — фокальный параметр и эксцентриситет орбиты.

Рассматривается задача о различении двух гипотез; гипотеза H_0: $\Delta = 0$ при альтернативе H_1: $|\Delta| \geq \Delta^*$. Строится процедура обнаружения, решая задачу о различении двух простых гипотез при альтернативе H_1: $\Delta = \Delta^*$. Решающей статистикой отношения правдоподобия (с точностью до константы) является сумма

$$S = \sum_i (x_i - b_i)(a_i - b_i).$$

Показано, что если H_0, то $S_1 \sim N(C_h,\sigma^2 C_h)$ если H_1, то $S_1 \sim N(0,\sigma^2 C_h)$

$$Ch = \sum_i (\Delta\varepsilon_i)^2 \approx ||\Delta\varepsilon||^2/\Delta t, \quad ||\Delta\varepsilon||^2 = \int_0^{T-\tau} [\varepsilon_2(t) - \varepsilon_1(t)]^2 dt,$$

Качество различения нормальных распределений определяется отношением γ разности в средних к стандартному отклонению:

$$\gamma = C_h/\sqrt{\sigma^2 \cdot C_h} = \|\Delta\varepsilon\|/(\sigma \cdot \sqrt{\Delta t}), \quad \Delta t = (T - \tau)/$$

Выбирается γ = 5. При равных вероятностях *P* первого и второго рода будем иметь *P*= 1-Φ(γ/2)= 0.006. Обозначим:

$$g(p,e)..\sigma\sqrt{\Delta t} = \|\Delta\varepsilon\|/\gamma = f(p,e;\Delta^*,\tau)$$

Итак, по *p,e*;Δ*,τ определяется нужное значение *g(p,e)* системы; затем по *g* и имеющейся точности σ определяется дискретность Δt.

Углы $\varepsilon(t_i)$ вычисляются по *p,e,θ(ti)*; истинная аномалия $\theta(t_i)$, как функции времени, определяется по второму закону Кеплера в диф. форме. Посчитаны таблицы для *g(p,e)* в (терминах угла падения α и скорости V) и функции *Δt(g,σ)*. Например, при α = 36°, V = 2 км/с, τ = 19 с получаем g = 5.14 · 10^{-3}. затем по σ = 6’ находим Δt = 8.7с.

Литература

1. **Chang C.B.** Optimal state estimation of ballistic trajectories with angle-only measurements, MIT Lincoln Laboratory, January 1979.
2. **Колесса А.Е. Пругло А.В., Равдин С.С.** Восстановление орбит по угловым измерениям. “Радиотехника”, №10, 2005.

А. В. Иванов, студ.; рук. П. В. Зубков, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВОМ ПЛАСТИНЫ

В последнее время существенное внимание уделяется задачам радиационно-кондуктивного (сложного) теплообмена, методы решения которых имеют широкое применение. В частности, большой практический и теоретический интерес приобретает задача, в которой теплообмен с внешней средой происходит по закону Стефана-Больцмана [1].

В настоящей работе рассматривается задача об оптимальном управлении процессом нагрева бесконечной абсолютно черной пластины. Между поверхностью пластины и окружающей средой происходит теплообмен, который описывается нелинейными краевыми условиями третьего рода.

Требуется минимизировать функционал

$$J(y) = \frac{1}{2}\int_0^l |y(x,\mathrm{T}) - y_0(x)|^2 dx$$

при условиях

$$\begin{cases} \dfrac{\partial y}{\partial t}(x,t) = \mathrm{a}^2 \dfrac{\partial^2 y}{\partial x^2}(x,t) + u(x,t), \quad (x,t) \in \{(x,t)\colon\ 0 < x < l,\ \ 0 < t < T\}, \\ -\dfrac{\partial y}{\partial x}(0,t) = \kappa(u_0^4(t) - |y(0,t)|^3 y(0,t)), \qquad 0 < t \le \mathrm{T}, \\ \dfrac{\partial y}{\partial x}(l,t) = \kappa(u_l^4(t) - |y(l,t)|^3 y(l,t)), \qquad 0 < t \le \mathrm{T}, \\ y(x,0) = \varphi(x), \qquad 0 \le x \le l, \end{cases}$$

где $u(x,t), u_0(t), u_l(t)$ — управляющие функции.

Для численного решения задачи минимизации функционала применяется метод проекции градиента [2], причем на каждой его итерации решаются основная нелинейная начально-краевая задача и соответствующая ей сопряженная начально-краевая задача. Автором работы предложен новый алгоритм численного решения данной нелинейной начально-краевой задачи.

Проведен ряд вычислительных экспериментов на ЭВМ.

Литература

1. **F. Troltzsch.** Optimal Control of Partial Differential Equations. Theory, Methods and Applications. American Mathematical Society, 2010.
2. **Васильев Ф. П.** Методы решения экстремальных задач. М.: Наука, 1981.
3. **Самарский А. А., Гулин А. В.** Численные методы. М.: Наука, 1989.

Д.А. Кара, ст.; рук. И.А. Боровиков, к.ф.-м.н., доц. (НИУ "МЭИ")

СВОЙСТВА МНОЖЕСТВА КОММУТИРУЮЩИХ МАТРИЦ

Известный факт — не все матрицы коммутируют. Возникает закономерный вопрос — а какую часть от всех матриц составляют коммутирующие матрицы? В данной работе исследуется множество коммутирующих матриц с точки зрения элементарной топологии и теории меры. Вопрос о свойствах множества коммутирующих матриц рассматривается для матриц над полем вещественных чисел R и матриц над целостным кольцом целых чисел Z. Пусть $M_n(R)$ — множество всех квадратных матриц порядка n над полем R, а $M = M_n(R) \times M_n(R)$ — пространство всех пар матриц из $M_n(R)$, которое можно отождествить с R^{2n^2} . Топология и мера в M – это стандартная топология в R^{2n^2} и мера Лебега в R^{2n^2}. Введем обозначения $L=\{(A,B) \in M \mid AB-BA=0\}$.

Теорема 1. Множество коммутирующих матриц L — нигде не плотно в пространстве M.

Теорема 2. Множество L является множеством меры нуль в пространстве M.

Пусть далее $M = M_n(Z) \times M_n(Z)$ — множество всех пар квадратных матриц порядка n над Z, а L определяется также, как и ранее. Для $m \in N$ положим:

$$M_m = M_n(\{-m,-m+1,\ldots,m-1,m\}) \times M_n(\{-m,-m+1,\ldots,m-1,m\}) \text{ и } L_n = L \cap M_m$$

Долю множества L в M будем оценивать с помощью внешней меры:

$$\mu^*(L) = \lim_{m\to\infty} \frac{card L_m}{card M_m}$$

Теорема 3. Множество L является множеством μ^* — меры нуль в пространстве M.

Литература

1. **Колмогоров А.Н., С.В. Фомин**. Элементы теории функций и функционального анализа. — 7-е изд. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012–572 с.
2. **Виро О.Я., Иванов О.А., Нецветаев Н.Ю., Харламов В.М.** Элементарная топология. — 2-е изд., исправл. — М.: МЦНМО, 2012. — 358+x. с.

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

ОБ ОДНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧЕ С НЕСТАНДАРТНЫМИ КРАЕВЫМИ УСЛОВИЯМИ

В представленной работе исследована корректная разрешимость нелинейной системы дифференциальных уравнений в частных производных с краевыми условиями нестандартного вида:

$$-\Delta u + |u|^{p-2}u = h, x \in G \quad (1)$$

при граничных условиях

$$u_n = 0, \qquad \left(\frac{\partial u}{\partial n}\right)_\tau = 0,\ x \in \Gamma \quad (2)$$

Здесь u_n нормальная, $\left(\frac{\partial u}{\partial n}\right)_\tau$ касательная составляющие соответствующих граничных значений; $h(x) = \left(h_1(x), h_2(x)\right)$ заданная вектор-функция. $\frac{\partial u}{\partial n} = \left(\frac{\partial u_1}{\partial n}, \frac{\partial u_2}{\partial n}\right)$ вектор производных по нормали, $n(x) = (n_1(x), n_2(x))$ — нормальный вектор к границе Г, $p > 0$ произвольное число.

Разрешимость задачи (1),(2) будет установлена в пространстве

$$W^1_{2,tang}(G) = \{u: G \to \mathbb{R}^2 | u \in W^1_2 \& u_n = 0, x \in \Gamma\}$$

В работе определенно обобщенное решение задачи, показана эквивалентность граничного условия $\left(\frac{\partial u}{\partial n}\right)_\tau = 0,\ x \in \Gamma$ интегральному уравнению при условии гладкого обобщенного решения.

Установлено определение корректности задачи, сформулирована и доказана теорема о существовании и единственности решения системы.

Литература

1. **Дубинский Ю.А.** О Некоторых краевых задачах для системы уравнений Пуассона в трехмерной области. Дифференциальные уравнения, т. 45, № 4, 2014, стр. 610–614.
2. **Карчевский М.М., Павлова М.Ф.** Уравнения математической физики (дополнительные главы). Казань: Издательство Казанского университета, 2008.

А.В. Николаев, студ.; М.А. Маркушин, асп.;
рук. В.А. Колпаков, д.ф.-м.н., доц. (СНИУ, Самара)

МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОДОВ, ФОРМИРУЮЩИХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД

Расчет кинетики заряженных частиц в высоковольтном газовом разряде актуален как в фундаментальном, так и в прикладном плане, в связи с тем, что позволяет определить энергетические параметры заряженных частиц и их концентрацию. Последнее означает, что появляется возможность оценки скорости протекания технологических процессов стимулированных потоком заряженных частиц плазмы, описанных в работе [1].

В связи с этим появляется возможность получения новых знаний об особенностях поведения заряженных частиц в высоковольтном газовом разряде, существующего в неоднородном электростатическом поле, на основе имеющихся результатов моделирования.

Целью настоящей работы является разработка модели траекторий движения электронов, положительных ионов, их энергий с учетом процессов столкновения данных частиц с нейтралами газа, протекающих в неоднородном электростатическом поле, а также напряженности данного поля, образуемого электродной системой, формирующей высоковольтный газовый разряд.

Расчет траекторий движения электронов и положительных ионов, их энергий с учетом столкновений данных частиц с нейтралами газа основывался на модели распределения электростатического поля, полученной в работе [2].

Разработанная модель позволяет: анализировать влияние параметров электродной системы на кинетику заряженных частиц в разряде; уточнить физические и математические модели взаимодействия данных частиц с поверхностью.

Литература

1. **Казанский Н.Л.**, Колпаков В.А. Формирование оптического микрорельефа во внеэлектродной плазме высоковольтного газового разряда / Москва: Радио и связь, 2009. 223 с.
2. **Маркушин М.А.**, Колпаков В.А., Кричевский С.В. и др. Моделирование распределения электростатического поля в системе электродов устройства, формирующего высоковольтный газовый разряд // Журнал технической. 2015. Т. 85. № 3. С. 60–64.

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

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ ОРБИТЫ ПО УГЛОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

Рассматривается свободное движение космического тела (КТ) в поле тяжести Земли для эллиптической орбиты. Предполагается, что наблюдателем измеряются только угловые координаты. Измерения пеленгуются с ошибками $D\delta_i = \sigma^2$. Рассматриваются неблагоприятные для наблюдателя орбиты — движение наблюдателя происходит вблизи плоскости орбиты. Задача состоит в проверке сложной гипотезы $H = (H_0, H_1)$, где $H_0 = \{\Delta = 0\}$, $H_1 = \{|\Delta| \geq \Delta^* > 0\}$, Δ — знаковое расстояние от точки падения КТ до наблюдателя. Если верна гипотеза H_1, то дополнительно нужно определить знак Δ.

Необходимо разработать эффективный алгоритм обнаружения смещения орбиты. В работе предлагается возможный алгоритм. Оказывается, по начальным измерениям можно оценить первый параметр движения — V_x — горизонтальную скорость КТ, а по последним — оставшиеся параметры: Δ и V_y — вертикальную составляющую скорости КТ. Далее применяется критерий отношения правдоподобия для проверки H_0, используя полученные оценки: $k(x) = \frac{p(x;\hat{V}_x,\hat{V}_y,\Delta=0)}{p(x;\hat{V}_x,\hat{V}_y,\Delta=\Delta^*)}$, где x — выбранные наблюдения. В зависимости от поведения данной статистики мы принимаем решение о принятии или отклонении H_0.

В работе приводятся графики зависимости различных характеристик от неизвестных параметров, предлагаются оценки неизвестных параметров орбиты, проводится ряд вычислительных экспериментов для анализа «хороших» и «плохих» орбит и точности полученных оценок и алгоритма.

Данная работа является полезным материалом для более общей задачи: добавление вращения Земли, рассмотрение средних и высоких орбит, выход в 3d с добавлением азимутальных измерений.

Литература

1. **Эльясберг П.Е.** Введение в теорию полёта искусственных спутников Земли. М.: Наука, 1965 — 540с.
2. **Ануфриев А.М., Горицкий Ю.А.** Анализ точности определения баллистического движения по угловым измерениям //Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. XXV МНТК студентов и аспирантов, М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга»», 2019
3. **Chang C.** Ballistic trajectory estimation with angle-only measurements. IEEE Transactionson Automatic Control, 1980, vol. 25, no. 3, pp. 474-480. DOI: 10.1109/TAC.1980.1102368

А.К. Колясникова, студентка; рук. А.Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ

Изучается ряд криптографических свойств булевых функций и их представлений, удобных для анализа: статистическая структура, преобразование Уолша-Адамара, преобразование Фурье [1]. Взаимные преобразования между этими представлениями осуществляются с применением автоматически синтезируемой программой реализации схемы Грина преобразования Уолша-Адамара [2]. На основе статистической структуры определяется ближайший статистический аналог в классе линейных или аффинных функций, по преобразованию УА вычисляется удаленность булевой функции от класса линейных или аффинных функций. Свойства сбалансированности, m-равно-вероятности, сильной равновероятности описываются свойствами систем решений систем нелинейных уравнений [1] и для анализа этих свойств требуется компьютерный эксперимент.

С использованием системы компьютерной алгебры Sage [3] разработана программа, вычисляющая при задании функций их алгебраическими формами количества решений системы логических уравнений

$$f(x_{1+i}, x_{2+i}, ..., x_{n+i}) = \gamma_{1+i},\ i = 1, ..., m, \qquad (1)$$

для некоторого натурального m при всевозможных векторах $(\gamma_1, \gamma_2, ..., \gamma_m) \in \{0,1\}^m$. Анализ вектора количеств решений при этом позволяет оценить, является ли функция $f(x_1, x_2, ..., x_n)$ сбалансированной (при m=1), m-равновероятной или (при $m=2^{n-1}$) сильно равновероятной, а также выявлять т.н. запреты — наборы $(\gamma_1, \gamma_2, ..., \gamma_m)$, при которых система не имеет решения [1].

Пример 1. Можно увидеть, что функции $f(x_1,x_2,x_3,x_4)=x_1+x_3+x_2x_4+x_1x_2x_4$ 8-равновероятна и, следовательно, сильно равновероятна, а функция $f(x_1,x_2,x_3,x_4)=x_1+x_3+x_1x_2+x_2x_4+x_1x_2x_4$ не является 4-равновероятной.

Программа используется в дисциплине Современная компьютерная алгебра при изучении криптографических свойств булевых функций.

Литература

1. **Лось А.Б.**. Криптографические методы защиты информации: учебник для академического бакалавриата/А.Б.Лось, А.Ю. Нестеренко, М.И. Рожков. — 2-е изд., испр. М.: Юрайт, 2017.
2. **Бабаш А.В., Шанкин Г.П.** Криптография/ Под редакцией В.П. Шерстюка, Э.А. Применко.. — М.: СОЛОН-ПРЕСС.
3. Sage web site https://www.sagemath.org. (Дата обращения 13.11.2019).

Н.П. Кочетова, студентка; рук. А.Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)

ВЫЧИСЛЕНИЕ РАЗНОСТНЫХ МНОЖЕСТВ ОДНОГО ВИДА

Множество D, состоящее из k вычетов по модулю v называется (v,k,λ)-разностным множеством, если для каждого d, не сравнимого с 0 по модулю v, существует точно λ пар (a_i,a_j), $a_i,a_j \in D$, таких, что $a_i - a_j \equiv D(mod\ v)$ [1,2].

Изучается алгоритм построения разностных множеств с параметрами

$$v = \frac{q^{n+1}-1}{q-1}, k = \frac{q^{n}-1}{q-1}, \lambda = \frac{q^{n-1}-1}{q-1},$$

где $q = p^r$, p — это простое число, $r \geq 1$.

Такие разностные множества порождают циклические (v,k,λ)-блок-схемы, являющиеся проективными геометриями PG(n,q). Для их построения при $r = 1$ используется простое поле F_p, а при $r>1$ — его расширение F_p степени r, а также расширение $\boldsymbol{F}$ степени n+1 этих полей.

Пусть x есть образующий элемент мультипликативной группы F^*. Тогда $(\frac{q^{n+1}-1}{q-1}, \frac{q^{n}-1}{q-1}, \frac{q^{n-1}-1}{q-1},)$ — разностное множество образуется вычетами по модулю $\frac{q^{n+1}-1}{q-1}$, равными дискретным логарифмам элементов (полиномов над F_q) из F^*, степени меньше, чем $n-1$. Их вычисление производится в поле F взятием элемента 1 и последующим умножением на x с проверкой в каждом цикле равенства нулю коэффициента при x^{n-1} — условия принадлежности номера цикла разностному множеству.

Соответствующая компьютерная программа разработана с применением системы компьютерной алгебры Sage [3] посредством Алгебраического процессора МЭИ.

Примеры построенных разностных множеств Зингера:

(15,7,3): {0, 1, 2, 7, 9, 12, 13}, (13,4,1): {0, 1, 5, 11},(21,4,1): {0, 1, 6, 8, 18}.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-01-00294а.

Литература

1. **Холл М.** Комбинаторика. – М.: Мир. 1070.
2. **Stinson D.** Combinatorial designs : constructions and analysis. Springer-Verlag New York. 2004.
3. Sage web site https://www.sagemath.org. (Дата обращения 13.11.2019).

А.А. Титов, студ.; рук. Ю.А. Беляева, к.т.н., доц.
(РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва)

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ В MULTISIM И MATHCAD

Предлагается использование имитационного в среде MultiSim и математического в среде MathCad моделирования электрических цепей (ЭЦ) в новой методике лабораторных работ по дисциплине «Электротехника и электроника», разработанной в РХТУ имени Д.И. Менделеева.

Обе системы моделирования имеют достоинства и недостатки. MathCad — открытая и поэтому универсальная система позволяет моделировать любые процессы, в том числе физико-химические, механические и другие. Multisim — закрытая и поэтому узкоспециализированная система моделирования ЭЦ, значительным достоинством которой является высокий уровень автоматизации при решении систем уравнений, сбора, хранения и графического отображения результатов, как следствие, экономия времени моделирования. Средой обмена информацией между MultiSim и MathCad, анализа и представления результатов служит приложение Excel.

Приводятся примеры имитационного (MultiSim) и математического (MathCad) моделирования различных стационарных, в том числе критических режимов работы ЭЦ с визуализацией этих режимов графическими средствами всех вышеописанных приложений. Например, режим короткого замыкания любой фазы трёхфазной электрической цепи по схеме «звезда» с нейтральным проводом представлен двумя стационарными состояниями ЭЦ: до и после отсечки аварийного участка ЭЦ автоматическими выключателями. Для анализа этих состояний в MathCad, например, автоматически строятся векторные и временные диаграммы с регулируемым масштабом. Эти состояния можно анализировать в MultiSim и сравнить с MathCad.

Вышеописанные компьютерные приложения дополняя друг друга способствуют глубокому пониманию основ электротехники, позволяя при этом избежать грубых ошибок путем сравнения результатов моделирования, облегчить обучение и значительно сократить время и другие ресурсы на решение практических задач по электротехнике и электронике.

Литература

1. **Равичев Л.В., Логинов В.Я., Беляева Ю.А., Комиссаров Ю.А.** Электротехника и основы электроники, Лабораторный практикум, учебное пособие — М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2018. — 76 с.
2. **Кирьянов Д.В.** Mathcad 15 / Mathcad Prime 1.0. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 432 с.: ил. ISBN 978-5-9775-0746-2
3. **Серебряков А.С.** «Электротехника и электроника. Лабораторный практикум на Electronics Workbench и Multisim». ISBN: 978-5-06-005899-4. Год издания: 2009. Издательство: Высшая школа.

С.Д. Полякова, студентка; рук. А.Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)

НЕИНТЕРАКТИВНЫЙ ПРОТКОЛ СЕРТИФИКАЦИИ ОТКРЫТЫХ КЛЮЧЕЙ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ С СЕКРЕТОМ

Для взаимной аутентификации пользователей сети, например, по схеме неинтерактивного доказательства с нулевым разглашением и предназначенным верификатором [1] (по протоколу передачи с секретом) необходимы их сертифицированные открытые ключи. Участники должны иметь возможность получать на сервере сертификаты открытых ключей, подтверждающие их соответствие секретным ключам.

Сертификация может быть осуществлена доверенным и дочерним центрами с использованием не интерактивной m из n забывающей передачи.

1. Доверенный центр T выбирает и публикует системные параметры не интерактивной забывающей передачи и элемент U большого поля с неизвестным участникам значением log U.

2. Дочерний центр D выбирает секретный, вычисляет и публикует соответствующий открытый ключ неинтерактивной забывающей передачи [2].

3. Доверенный центр проверяет соответствие элементу U этого открытого ключа и публикует его сертификат за своей подписью.

4. Участники публикуют свои открытые ключи и доказательства их соответствия своему секретному ключу, используя открытый ключ дочернего центра, по протоколу забывающей передачи.

5. Дочерний центр получает и проверяет доказательства открытых ключей участников, и пересылает проверенные доказательства доверенному центру вместе с позиционной частью секретного ключа по секретному каналу.

6. Доверенный центр получает от дочернего центра и проверяет доказательства участников сети, формирует и публикует их сертификаты.

Новым является применение не интерактивной забывающей передачи для решения задачи не интерактивной сертификации открытых ключей.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 19-01-00294.

Литература

1. **Венбо Мао.** Современная криптография. Теория и практика. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2005.
2. **Фролов А.Б.** Понижение границы неустойчивости неинтерактивных протоколов идентификации // Вестник Московского энергетического института., 2015, № 1, С. 114–120.

Н.Е. Крымов, асп.; рук. А.А. Амосов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

О КОРРЕКТНОСТИ ОДНОЙ НЕСТАНДАРТНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ

Рассматривается краевая задача для уравнения (1) в квадрате Ω_ε, возникающая при гомогенизации некоторых задач радиационно-кондуктивного теплообмена в периодических структурах. На границе Γ_ε ставится нестандартное краевое условие (2), в которое входит вторая производная по касательному направлению.

$$-\varepsilon\Delta u = f, \qquad x = (x_1, x_2) \in \Omega_\varepsilon, \tag{1}$$

$$\varepsilon D_n u - \frac{\varepsilon^2}{2} D_s^2 u + g(u) = g_\Gamma + f_\Gamma, \quad x \in \Gamma_\varepsilon \setminus \gamma_\varepsilon \tag{2}$$

$$\varepsilon \hat{D}_n u + g(u) = \hat{g}_\Gamma + \hat{f}_\Gamma, \quad x \in \gamma_\varepsilon \tag{3}$$

Здесь $0 < \varepsilon$ – малый параметр; Ω_ε – квадрат $I_\varepsilon \times I_\varepsilon = (\varepsilon/2, 1-\varepsilon/2)\times(\varepsilon/2, 1-\varepsilon/2)$, с границей Γ_ε, а $\gamma_\varepsilon = \{A_\varepsilon, B_\varepsilon, C_\varepsilon, D_\varepsilon\}$ — множество его угловых точек. D_n и D_s – производные по внешней нормали и касательной к Γ_ε, $\check{D}_n$– аналог производной по нормали в угловых точках.

Установлены существование, единственность и регулярность обобщенного решения задачи (1)-(3). Получены оценки производных $D_1^2 u$, $D_2^2 u$, $D_1 D_2 u$, в $L^2(\Omega_\varepsilon)$ и $D_s^2 u$ в $L^2(\Gamma_\varepsilon)$.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-11-00033).

Литература

1. **Амосов А. А.** Полудискретные и асимптотические приближения для нестационарной задачи радиационно–кондуктивного теплообмена в периодической системе серых экранов, Пробл.мат. анал. 57, 69–110 (2011).
2. **Amosov A. A.** Asymptotic approximations for the stationary radiative-conductive heat transfer problem in the two-dimensional system of plates Russ. J. Numer. Anal. Math. Model. 32, No. 3, 173–185 (2017).
3. **Kremkova A.A.** Semidiscrete and asymptotic approximations for the radiative-conductive heat transfer problem in the two-dimensional periodic structure [in Russian], Vestnik MEI, (2012), No. 6, 151–161.

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

ГЛАДКОСТЬ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ПРОСТРАНСТВЕ ДИНИ

В полосе $\{(x, t) \mid x \in (-\infty, +\infty), 0 < t < T\}$, где — произвольное фиксированное число, рассматривается задача Коши для неоднородного уравнения теплопроводности:

$$\partial_t u - a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = f(x, t), (x, t) \in D$$

$$u(x, 0) = 0 \; x \in (-\infty, +\infty).$$

Предполагается, что f локально Дини непрерывна по *x*, т.е. для каждой точки $(x_0, t_0) \in D$ существуют постоянные C, $\varepsilon > 0$, зависящие от x_0 и t_0, такие, что для всех $x - x_0 \mid \le \varepsilon$, $\Delta x \mid \le \varepsilon$, $t - t_0 \mid \le \varepsilon$ выполняется неравенство $f(x + \Delta x, t) - f(x, t) \mid \le C(x_0, t_0)\omega_0(\mid \Delta x \mid)$, где ω_0 — функция типа модуля непрерывности (см. [1]), удовлетворяющая условию:

$$\int_0^z \omega_0(y) y^{-1} dy < +\infty, z > 0).$$

Кроме того, функция *f* непрерывна в и удовлетворяет условию:

$$\mid f(x, t) \mid \le \frac{C\,\omega_1(t^{1/2})}{t^{1/2},}, x, t) \in D$$

для некоторой постоянной и некоторой функции типа модуля непрерывности.

Доказаны оценки в пространстве Дини для решения задачи Коши и его производной по пространственной переменной. Для доказательства используется метод работы [2]. В случае пространств Гёльдера полученный результат следует из работы [2].

Литература

1. **Дзядык В.К.** Введение в теорию равномерного приближения функций полиномами. — М., Наука, 1977.
2. **Cherepova M.F.** Solvability of the Cauchy Problem for a Parabolic Equation with Unbounded Coefficients. // Journal of Mathematical Sciences. 2015. Vol. 210. № 5. Pp. 736 – 757.

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

УМНОЖЕНИЕ ДЛИННЫХ ЧИСЕЛ НА ГРАФИЧЕСКОМ ПРОЦЕССОРЕ

Умножение длинных чисел — одна из важнейших задач длинной арифметики, встречающаяся в следующих областях математики: математическое программирование, криптография, вычислительная математика. С началом использования многопроцессорных систем для решения задач длинной арифметики вопрос о быстродействии алгоритмов умножения, казалось бы, начал отступать на второй план. Однако объемы вычислительных задач постоянно растут, поэтому и данная задача не утрачивает свою актуальность.

Перемножение двух n-значных целых чисел школьным методом «в столбик» сводится к сложению n-значных чисел. Для сложности данного метода имеем оценку сверху $O(n^2)$. Метод умножения Карацубы [1] позволяет перемножать два n-значных целых числа со сложностью вычисления $O(n^{1.5849})$. В настоящее время популярным способом ускорения решения трудоемких математических задач является использование ускорителей на базе графических процессоров. Есть такие работы и для умножения длинных чисел.

Однако подавляющая часть статей рассматривает вопрос умножения на графических процессорах либо чисел малой длины (до 512 бит), либо очень больших чисел (сотни тысяч бит). В данной работе рассматриваются алгоритмы умножения «в столбик» и Карацубы для чисел длиной от 256 до 8192 бит.

Данные алгоритмы были реализованы для универсального процессора на языке программирования C++ и для графического процессора с использованием технологии NVidia CUDA [2]. Так же проведен анализ быстродействия разработанных алгоритмов на различных универсальных и графических процессорах.

Полученные в данной работе результаты могут быть использованы при проектировании и разработке программного обеспечения для решения задач длинной арифметики.

Литература

1. **Карацуба А.А., Офман Ю.П.** Умножение многозначных чисел на автоматах. — Доклады Академии наук СССР. — 1962. — Т. 145, №2.
2. **Боресков А.В.** Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA. — Издательство МГУ Москва. — 2015.

П.С. Чухнина, студ.; рук. А.В. Князев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСПОЗНАВАНИЕ И ПОИСК ЛИЦ

В настоящее время наблюдается интерес к проблеме распознавания лиц. Данная задача распознавания является актуальной из-за широкого спектра применений, например, контроль доступа, наблюдения. Распознавание человека по изображению лица имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами идентификации человека: не требуется специальное или дорогостоящее оборудование, не нужен физический контакт с устройствами.

Под распознаванием будем понимать идентификацию изображения неизвестного лица с одной из известных персон, то есть будем относить исследуемый объект к одному из взаимоисключающих классов или вынесем заключение о том, что этот объект не относится к известным классам.

Для решения задачи распознавания использован метод главных компонент. Он является одним из основных способов уменьшить размерность данных без существенных потерь информации. В применении к изображениям метод главных компонент также называют методом собственных лиц — собственные векторы, вычисленные для всего набора лиц, называются собственными лицами [1].

В ходе работы были решены следующие задачи:

1) Написана реализация метода главных компонент для распознавания лиц на языке программирования Python 3.6 использованием библиотеки NumPy;

2) Написанная программа протестирована на наборе данных;

3) Написано веб-приложение: клиентская часть на языке JavaScript с использованием фреймворка Vue.js, серверная часть на языке Python 3.6 с использованием фреймворка Flask.

Литература.

1. **Matthew Turk, Alex Pentland.** Eigenfaces for recognition // Journal of cognitive neuroscience, 1991, Volume 3, pp. 71-86.

К.О. Мацко, А.Д. Моисеева, студенты; рук. Е.Д. Максимова, аспирант, рук. Д.А. Дементьев, аспирант (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ SIMINTECH ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

В настоящий момент зависимость от импорта Российской Федерации имеет большое значение для обеспечения независимости страны в области энергетики. Импортозамещение становится крайне актуальной проблемой и достигается путем внедрения и использования различных отечественных прикладных программ и инструментария в условиях производства. Важным фактором успешного решения данной проблемы является подготовка высококвалифицированных специалистов, освоивших отечественные программные продукты. [1]

В данной работе в качестве отечественного программного обеспечения рассмотрена среда моделирования SimInTech и её использование в учебном процессе для подготовки бакалавров направления «Теплоэнергетика и теплотехника» в Национальном Исследовательском Университете «МЭИ» по дисциплине «Вычислительные машины, системы и сети». Данное программное обеспечение используется в качестве среды выполнения лабораторных работ и проведения практических занятий, предоставляя возможность синтеза и анализа различных рассматриваемых в учебном курсе цифровых электронных устройств, базирующихся на логических элементах.

Курс лабораторных работ способствует усвоению студентом теоретического материала, включающего комплексное представление об изучаемых на лекциях устройствах, принципах их функционирования, использование основ алгебры логики для проектирования и моделирования работы цифровых электронных устройств различного назначения.

Литература

1. **Ю.А. Лямин.** Проблемы импортозамещения в информационных системах//Экономика, статистика и информатика. — 2016, №4, — С.35–38.

Д.А. Дегтярев, С.А. Данилов, студенты; рук-ли А.А. Волошин, к.т.н., А.И. Коваленко, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭКВИВАЛЕНТА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПО ДАННЫМ СВИ ДЛЯ АДАПТИВНОЙ РЗА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

С увеличением доли распределенной генерации в распределительных сетях традиционный подход расчета уставок РЗА может оказаться некорректным для ряда режимов работы сети. Расчет уставок на анализе максимальных и минимальных режимов работы не позволяет выполнить защиту селективной, обеспечив при этом необходимую чувствительность. В то же время для создания адаптивной к режиму работы сети РЗА необходимо иметь информацию о параметрах внешней энергосистемы. Отсутствие актуальной информации о составе, параметрах и режимах работы электрооборудования внешней энергосистемы — одной из проблем для расчета актуальных параметров срабатывания РЗА. Для решения этой задачи предлагается формировать эквивалент внешней энергосистемы по данным синхронизированных векторных измерений (СВИ).

Границы внутренней электрической сети (узловые точки) соединены с внешней энергосистемой линиями связи (ЛЭП, АТ, Т). Топология эквивалента представляет из себя многоугольник с n количеством вершин, где n определяется количеством линий связи. К вершинам многоугольника подключены источники ЭДС с внутренним импедансом. Вершины многоугольника между собой соединены посредством импеданса для учета возможного перетока между частями внешней энергосистемы (или ОЭС).

Основной задачей для построения эквивалента является идентификация его параметров. На первом этапе подход к созданию эквивалента опробован в ПК Matlab, на тестовой схеме IEEE 14-bus [1] и разбита на внутреннюю и внешнюю части энергосистемы. Внешняя энергосистема была заменена эквивалентом. Эквивалент описывается системой уравнений по законам Кирхгофа, разрешаемой при помощи функцией оптимизации ПК Matlab.

Было выявлено, что для предложенного метода формирования эквивалента в ПК Matlab наилучшие показатели обеспечивает функция globalsearch, погрешности которой составили менее 1%, а время расчета 13 минут. Это допустимо для проведения расчетов в режиме «offline». При этом время работы алгоритма может быть снижено путем оптимизации программного кода. Для задач РЗА в дальнейшем будет продолжаться исследование, с целью создания эквивалентов, соответствующих различным схемно-режимным ситуациям, а также режимам КЗ.

Литература

1. Illinois Center for a Smarter Electric Grid. (2013). [Online]. Available FTP: http://publish.illinois.edu/smartergrid/

А.В. Коровкин, Р.А. Шитов, студенты;
рук. А.Н. Никоноров, к.т.н, доц. (ИГЭУ, Иваново)

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ПГУ В ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ «СУРА»

Имитационное и математическое моделирование широко используется как метод исследования технологических объектов и систем управления. Современные программные средства для разработки имитационных моделей позволяют создавать динамические модели высокой точности. Однако для работы в составе тренажеров или полигонов АСУТП такие специализированные системы имитационного моделирования требуют решения проблемы организации быстрого и надежного обмена информацией с техническими средствами управления.

В работе решается задача исследования возможности реализации модели технологического объекта управления (энергоблока ПГУ-325) средствами промышленного программно-технического комплекса (ПТК «СУРА»).

ПТК «СУРА» включает в себя программное обеспечение для работы с базой данных проекта, для разработки операторского интерфейса, для разработки технологических программ контроллеров, а также выполнения вычислительных задач.

Для исследования возможностей ПТК «СУРА» в качестве средства моделирования в нем была реализована модель газотурбинной установки [1]. Проведено сравнение её работы с трендами, построенными по архивным данным АСУТП энергоблока ПГУ-325 филиала «Ивановские ПГУ».

В ходе исследований было выявлено, что ПТК «СУРА» позволяет строить и отлаживать модели технологических объектов управления. Однако, программное обеспечение обладает некоторыми недостатками, в частности, имеется проблема нестабильности связи с контроллером при определенных характеристиках сети и объеме вычислительных операций.

Литература

1. **Коровкин А.В., Шитов Р.А., Никоноров А.Н.** Моделирование энергоблока ПГУ-325 в системе SimInTech // Материалы V Межд. науч.-практ. конф. (школы-семинара) молодых ученых «Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук». — Тольятти: Издатель Качалин Александр Васильевич, 2019. — С.213-217.

В. М. Егоров, студент; рук. П. В. Зубков, кандидат физико-математических наук, доцент (НИУ МЭИ, Москва)

ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НАГРЕВА СТЕРЖНЯ

В [1] описана задача, которая в теплофизических терминах может быть сформулирована следующим образом. Имеется однородный стержень $0 \le s \le l$, левый конец $s = 0$ которого теплоизолирован, на правом конце $s = l$ происходит теплообмен с внешней средой и, кроме того, в стержне имеются источники (или стоки) тепла. Дано начальное распределение температуры в стержне. Требуется, управляя температурой внешней среды на правом конце стержня и плотностью источников тепла в стержне, к заданному моменту времени $T > 0$ распределение температуры сделать как можно ближе к заданному.

В данной работе рассматривается более общая задача, а именно — на обоих концах стержня происходит теплообмен с внешней средой. Это отличие от задачи, описанной выше, позволяет реализовать третье управление — управление температурой внешней среды на левом конце стержня. Была произведена программная реализация численного метода [2] решения поставленной задачи, проведен анализ ее работы на различных примерах. На основе этого анализа были выбраны оптимальные параметры метода:

1) шаг спуска метода проекции градиента,
2) критерий окончания,
3) комбинация управлений.

Один из главных результатов — получение константы Липшица градиента функционала и программная реализация метода проекции градиента с учетом этой константы. В этом случае удается существенно увеличить быстродействие программы.

Литература

1. **Васильев Ф. П.** Методы решения экстремальных задач. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. — 400с.
2. **Самарский А. А.** Введение в численные методы. Издательство «Лань», 2005. — 288с.

Ю.В. Ханенко, Ф.С. Федотов, А.В. Николаев, студенты;
рук. С.В. Кричевский, к.т.н., доц. (Самарский университет — НИУ, Самара)

МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ

Зондовые методы измерения подразделяются на две группы, а именно: метод с использованием одного зонда, и, более позднее видоизменение — двойной зонд.

Метод электрических зондов Ленгмюра позволяет измерять основные параметры плазмы: концентрации заряженных частиц n_e и n_i, температуры T_e и T_i, энергии E_e и E_i, макроскопический потенциал U в плазме, направленные скорости заряженных частиц υ_e и υ_i; определять функцию распределения электронов по скоростям.

Электрический зонд Ленгмюра представляет собой небольшое, по сравнению с общим размером плазмы и электродов, металлическое тело, вводимое в плазму, на котором может поддерживаться и изменяться определённый потенциал. Снятие ВАХ зонда Ленгмюра как раз и позволяет определить все вышеперечисленные параметры (n_e, n_i, T_e, T_i, E_e, E_i, U. υ_e, υ_i) [1].

Однако, одиночный зонд Ленгмюра неудобен для определения параметров безэлектродного разряда. Поэтому в большинстве современных экспериментальных устройств употребляется двойной зонд, который представляет собой автономную систему, электрически не связанную ни с металлической оболочкой объёма, содержащего плазму, ни с прочими вспомогательными электродами, введёнными в разряд [1]. Погрешность данного метода достигает 10–20%.

Кроме того, в настоящее время активно используется оптический метод исследования, которому посвящено достаточно много работ [1]. Оптические методы исследования подразделяются на исследования линейчатого спектра испускания плазмы и изучение непрерывного спектра, континуума, который в общем случае состоит из рекомбинационного и тормозного излучения. Их достоинством является отсутствие воздействия на параметры плазмы. Недостатком же является сложность аналитической интерпретации результатов измерения и определения соответствующих параметров плазмы (n_e, n_i, T_e, T_i, E_e, E_i, U. υ_e, υ_i).

В настоящей работе получены экспериментальные данные по исследованию параметров внеэлектродной плазмы методом зонда Ленгмюра.

Литература

1. **Литовченко Л.В.** Методы исследования параметров плазменных образований // Курс лекций для высших технических учебных заведений — Киев, «Миллениум», 2009, С. 28–35.

М.Д. Малухина, студ.; рук. М.Н.Никитин, к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВОГО РЕБРА С МЕДНОЙ ВСТАВКОЙ

В работе представлены результаты численного моделирования кольцевого оребрения с высокопроводящими вставками. Ребра выполнены из стали (теплопроводность λ = 60 Вт/(м·К)), а вставка из меди (λ = 401 Вт/(м·К)). Вставки обеспечивают более равномерное распределение температуры по поверхности ребра.

Моделирование проводилось на платформе OpenFOAM с использованием сопряженного решателя в стационарной постановке. Ввиду малой подвижности воздуха вблизи поверхности теплообмена моделирование турбулентности не проводилось. В рамках верификации результатов был проведен анализ сеточной сходимости по трем расчетным сеткам емкостью 16250, 24375 и 36563 элементов.

В качестве начальных условий было задано равномерное распределение температуры по всему объему ребра и вставки. На границе контакта ребра с основной поверхностью теплообмена были заданы граничные условия первого рода (T = 353 K), на границе раздела зон (ребро-воздух, ребро-вставка) граничные условия рассчитывались по условию сопряжения. Для сокращения расчета области были введены две плоскости симметрии.

В результате моделирования получено температуры на поверхности монолитного ребра и ребра с медной вставкой. Очевидно, что наличие ставки обеспечивает выравнивает профиля температур. При этом средняя температура поверхности после установки вставки увеличилась на 2 % (6 К).

Использование высокопроводящей вставки в расмотренном кольцевом ребре привело к увеличению теплоотдачи ценой увеличения себестоимости со снижением экономического эффекта [1, 2].

Литература

1. **Александренков В.П.** Эффективность интенсификации теплоотдачи в кольцевых оребренных трактах охлаждения камер сгорания // Вестник МГТУ им. Баумана: Машиностроение, 2013. No 3. С. 111–121.
2. **Амосова Е.В., Шишкин А.В.** Анализ влияния неоднородного распределения коэффициентов теплоотдачи на эффективность теплообмена кольцевого ребра // Вестник ДВФУ. 2019. Т.38. No 1. С. 27–36.

Д.Р. Талипов, магистр; рук. Т.Б. Дуйшеналиев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРУГОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Математическая модель базируется на решении краевой задачи теории упругости в неклассической постановке, полученной в работе [1]. Областью определения уравнений равновесия и совместности деформаций, а также граничных условий служит конечное состояние. Это состояние равновесия считается заданным, а не искомым. Иначе невозможно математически корректно указать положения сил, распределенных в объеме и на поверхности тела.

Осуществлена численная реализация вышеуказанной математической модели, приводятся результаты численных экспериментов по описанию процессов конечных (больших) деформаций. В модели используется линейный тензор деформаций Коши. Расчеты выполнены в системе Matlab при изгибе пластин и стержней (рис. 1, 2), растяжении-сжатии толстостенного цилиндра (рис. 3), а также кручении пластины (рис. 4) из различных конструкционных материалов (сталь, алюминий, резиноподобные композиты).

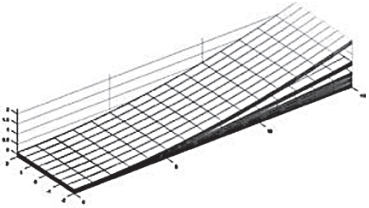


Рис. 1. Консольно закрепленная пластина при разных значениях нагрузки

Рис. 2. Моделирование деформаций изгиба консольной балки

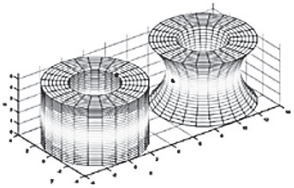


Рис. 3. Моделирование деформаций растяжения цилиндра

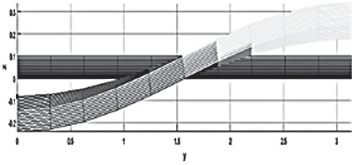


Рис. 4. Моделирование деформаций кручения пластины

Литература

1. **Дуйшеналиев Т.Б.** Неклассические решения механики деформируемого тела. М.: Издательство МЭИ, 2017.

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

ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ХОДЖКИНА-ХАКСЛИ

Рассматривается система дифференциальных уравнений модели Ходжкина-Хаксли, описывающей электрические механизмы, обуславливающие генерацию и передачу нервного сигнала в аксоне [1].

$$\begin{cases} C_m \cdot \dfrac{dV}{dt} = -g_L \cdot (V - V_L) - g_{Na} \cdot m^3 \cdot h \cdot (V - V_{Na}) - g_K \cdot n^4 \cdot (V - V_K) \\ \dfrac{dn}{dt} = \alpha_n(V) \cdot (1 - n) - \beta_n(V) \cdot n = 0 \\ \dfrac{dm}{dt} = \alpha_m(V) \cdot (1 - m) - \beta_m(V) \cdot m = 0 \\ \dfrac{dh}{dt} = \alpha_h(V) \cdot (1 - h) - \beta_h(V) \cdot h = 0 \end{cases}$$

Здесь V — потенциал действия, g_{Na}, g_K — ионные проводимости, n,m,h — вспомогательные переменные, играющие роль воротных механизмов, открывающих и закрывающих натриевые и калиевые каналы.

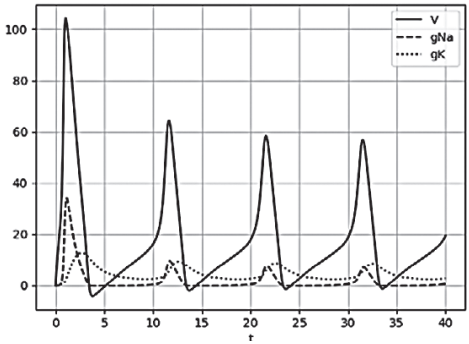


Рис.1

Проведено численное моделирование системы при различных значениях параметров, результаты которого (рис.1) частично повторяют результаты [2]. Колебания в системе обусловлены нахождением в области устойчивости параметров, выполняющих тормозящую и возбуждающую роль.

Литература

1. **Бахшиев А.В.** Нейроморфные модели управления на основе модели импульсного нейрона со структурной адаптацией.//ФГАНУ ЦНИИ РТК. Санкт-Петербург — 2016.
2. **Милованов А.В.** Математическое моделирование процессов в нервных клетках.// Воронежский государственный университет. Вестник ВГУ: Системный анализ и информационные технологии, 2016, №1.

А.Д. Митин, студ.; рук. М.А. Вольман, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ RTRM АЛГОРИТМА ДЛЯ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ ЯЭУ

В целях обеспечения надежности эксплуатации ядерной энергоустановки производится большое количество расчетов, в число которых входит оценка погрешностей выходных параметров и анализ влияния их неопределенностей на надежность установки во время протекания аварийного процесса.

В настоящее время задачи анализа надежности решаются методами Monte Carlo Sampling [1] и Generation Random Sampled [2], которые трудоемки и не дают адекватной оценки близких к нулю вероятностей.

Этих недостатков лишен Ray Tracing Reliability Method (RTRM) — алгоритм, чья суть состоит в аппроксимации границы отказа в фазовом пространстве отклонений входных данных методом SORM [3] и вычислению вероятности отказа как интеграла совместной плотности распределения отклонений входных параметров по области за этой границей.

Использование этого алгоритма дает возможность исключить оценку параметров распределения критериев надежности, которыми являются выходные данные математической модели, что очень упрощает оценку надежности установки. Также можно рассчитать близкие к нулю вероятности отказа, а также оценить влияние разных причин на вероятность отказа.

Была апробирована работа данного алгоритма для двумерного случая в пакете математического моделирования MATLAB. Для этого использована существующая математическая модель реактора, и для определенного представительного сценария «падение напряжения на ГЦН» и пары входных параметров «расход теплоносителя — положение ОР СУЗ» оценена вероятность отказа установки по причине наличия отклонений входных параметров, а именно вероятность достижения максимального проектного повреждения твэлов. В качестве критериев безопасности использовались температура топлива и температура оболочки.

Литература

1. **Войтишек, А.В.** Основы метода Монте-Карло: Учеб. пособие / Войтишек А.В. — Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2010. —108 с.
2. GRS Method for Uncertainty and Sensitivity Evaluation of Code Results and Applications. — Science and Technology of Nuclear Installations, Volume 2008 (2008), Article ID 798901, 7 p
3. A general procedure for first/second-order reliability method (FORM/SORM). — Yan-Gang Zhao, Tetsuro Ono, Department of Architecture, Nagoya Institute of Technology, Nagoya, Japan

Секция 13.
ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

Председатель секции — Еремеев Александр Павлович
Секретарь секции — Варшавский Павел Романович

А.С. Корнилов, асп.; рук. И.В. Сафонов, к.т.н. (НИЯУ МИФИ, Москва)

ЭФФЕКТИВНАЯ МНОГОПРОЦЕССНАЯ ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В рентгеновской томографической системе получают объёмные 3D изображения размером до 40003 вокселей. Для обработки подобных 3D изображений, например, подавления шумов и артефактов, требуются эффективные алгоритмы, которые способны обрабатывать изображение по частям и не требуют загрузки целого изображения в оперативную память. Подобные алгоритмы можно создать за счет параллельной обработки отдельных 2D срезов томографического изображения или блоков из нескольких соседних срезов. Целесообразно для обработки использовать оптимизированную для обработки изображений библиотеку OpenCV [1] и язык программирования C++.

Для распараллеливания обработки срезов использовались потоки выполнения средствами OpenMP [2]. Однако, в ходе оценки производительности было выявлено, что несмотря на использование OpenCV с отключенной многопоточностью, некоторые из её функций вызывают у потоков состояние гонки (race condition). Из-за этого с увеличением количества потоков наблюдался рост времени обработки. Был предложен подход с использованием параллельных процессов вместо потоков, позволяющий автоматически оценивать оптимальное количество процессов, исходя из вычислительных ресурсов системы. Предлагаемая последовательность вычислений состоит из трёх основных этапов: вычисление информации, требуемой каждому параллельному процессу, например, глобальной гистограммы изображения; обработка изображения при помощи параллельных процессов; обработка результатов, полученных всеми процессами. Передачу информации между процессами каждого этапа предлагается осуществлять средствами MPI [3]. В результате для разработанной программы время выполнения стабильно уменьшается с ростом количества рабочих процессов. Предложенная архитектура используется для обработки на вычислительном кластере в облачной среде.

Литература

1. **Kaehler A., Bradski G.** Learning OpenCV 3: computer vision in C++ with the OpenCV library // O'Reilly Media, Inc. — 2016
2. OpenMP Architecture Review Board. OpenMP C and C++ Application Program Interface Version 2.0 [Электронный ресурс] // March 2002 — URL: https://www.openmp.org/wp-content/uploads/cspec20. pdf (дата обращения: 21.11.19)
3. Message Passing Interface Forum. MPI: A Message-Passing Interface Standard Version 3. 0 [Электронный ресурс] // September 2012 — URL: https://www.mpi-forum.org/docs/mpi-3.0/mpi30-report. pdf (дата обращения: 21.11.19)

Лин Тхет Паинг, асп.; рук. А.М. Чернецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕКСТА

Искусственная нейронная сеть (ИНС) — это математическая модель, аналогичная ее программной или аппаратной реализации, построенная в некотором смысле по образу и подобию сетей нервных клеток живого организма [1]. На основании проведенного анализа видов нейронной сети, для дальнейшего использования в полноценной качественной системе распознавания текста выбраны свёрточные нейронные сети (СНС).

Распознавание текстов различной сложности становится возможным при использовании самообучения ИНС. В случае распознавания текста используются многослойные СНС. В настоящее время СНС могут распознавать печатный или рукописный текст, визуальные объекты, символы и другие объекты. На переднем базовом уровне СНС является исключительно многоуровневой иерархической ИНС. Слои СНС состоят из нейронов, установленных в трех измерениях (ширина, высота, глубина), не так, как простые ИНС. Граничные веса внутри сети распределены между различными нейронами в скрытых слоях.

Для того, чтобы начать распознавание текста, предварительно необходимо обработать изображение, воспользовавшись соответствующими средствами. Предварительная обработка включает в себя подготовку входных данных для последующего анализа и использования. В некоторых случаях также требуется повышение качества, устранение различного шума. Для этого вводимые данные упрощаются, улучшаются, модифицируются. Основной этап предварительной обработки заключается в преобразовании цветного изображения в черно-белое. Следующим шагом является фильтрация. В конечном итоге предварительный процесс ввода сводится к следующим операциям: ввод в черно-белом формате; фильтрация; обнаружение данных; извлечение данных [2].

В данной работе предполагается исследование качества распознавания текста с использованием СНС.

Литература

1. **Хайкин С.** Нейронные сети: полный курс = Neural Networks: A Comprehensive Foundation. 2-е изд. — М.: Вильямс, 2006. — 1104 с. — ISBN 0-13-273350-1.
2. **Long, J., Shelhamer, E., and Darrell, T.** Fully convolutional networks for semantic segmentation. CoRR,abs/1411.4038(V2), 2014[article].

А.Н. Апарнев, асп.; рук. Г.С. Плесневич, к. ф.-м. н, доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБ ОБУЧЕНИИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ НЕВЫПОЛНИМОСТИ ФОРМУЛ ПРОПОЗИЦИОНАЛЬНОЙ ЛОГИКИ

Задача определения выполнимости пропозициональной формулы (SAT) — одна из фундаментальных задач в информатике, которая состоит в определении, существуют ли такие значения переменных, при которых формула принимает значение «Истина». Согласно теореме Кука-Левина эта задача является NP — сложной. К этой задаче также сводятся многие практически важные комбинаторные задачи [1].

Если верна гипотеза P ≠ NP, то любой решающий задачу SAT точный алгоритм будет экспоненциален. Поэтому имеет смысл рассматривать задачу построения нейронной сети для распознавания невыполнимых формул. Такая сеть не обеспечивает полного точного распознавания невыполнимости, но все-же может дать некоторое достаточно полное решение [2]. Проблемой с обучением нейронной сети для задачи SAT является построение достаточно большого пула примеров невыполнимых формул.

Мы разработали алгоритм для неограниченной генерации невыполнимых формул. Этот алгоритм использует метод аналитических таблиц [3] в варианте, предложенном в [4].

Литература

1. **Karp.** Reductability Among Combinatorial Problems. 1972. http://cgi.di.uoa.gr/~sgk/ teaching/grad/handouts/karp. pdf (Русский перевод: Р.М. Карп. Сводимость комбинаторных проблем // Кибернетический сборник, вып. 12 (новая серия), М., «Мир», 1975).
2. **Selsam, M. Lamm, et al.** Learning a SAT Solver from Single-bit supervision [Электронный ресурс] // arXiv: 1802.03685. — Дата обновления: 12.03.2019. — 11 p. – URL: https://arxiv.org/abs/1802.03685 (Дата обращения: 01.01.2019)).
3. **D'Agostino, D.M. Gabbay, R. Hanle, J. Possega.** Handbook of Tableaux Methods. Springer 1999.
4. **Aliseda-Llera.** Seeking explanations: Abduction in logic, philosophy of science and artificial intelligence: дис. — PhD thesis, PhD thesis: Stanford University, Department of Philosophy, Stanford, 1997.

И.А. Полюшкин, студ.; рук А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ГИБКИХ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА РЕШЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ

Гибкими (anytime) называются алгоритмы, которые улучшают качество решения (вплоть до нахождения оптимального) с увеличением времени работы алгоритма [1]. Задачи, в которых существует некоторое множество состояний агента, детерминированные правила перехода между этими состояниями и требуется найти последовательность переходов из некоторого начального состояние в одно из целевых состояний, называются *задачами поиска в пространстве состояний*. Примерами таких задач являются задача поиска маршрута, задачи планирования обхода, задача компоновки СБИС, задача управления навигацией робота, задача автоматического упорядочения сборки, задача проектирования молекулы белка и многие другие [2].

В работе рассматриваются возможности построения гибких эвристических алгоритмов поиска на основе известных алгоритмов поиска в пространстве состояний: метод перезапуска, метод продолжения и метод восстановления [3].

Были реализованы и протестированы на задачах «Игра в 8», «Пятнашки» и «Колышковый солитер» различные гибкие версии алгоритмов A*, RBFS и IDA*, полученные с помощью метода перезапуска.

В результате испытаний на задачах «Игра в 8» и «Пятнашки» установлено, что гибкие версии алгоритма A* и IDA* пригодны для практического применения, в частности, в интеллектуальных системах поддержки принятия решений, так как время поиска первого решения ими значительно меньше, чем время поиска оптимального решения алгоритмом A*. Гибкая версия алгоритма RBFS менее подходит для практики, так как время поиска решения при ее использовании значительно выше, чем при использовании гибкой версии IDA*.

Испытания на задаче «Колышковый солитер» показали, что применимость гибких алгоритмов зависит также и от структуры задачи.

Литература

1. **Еремеев А.П., Митрофанов Д.А.** Гибкий алгоритм моделирования иерархических рассуждений для систем реального времени // Интеллектуальные системы. Коллективная монография. Выпуск 5./ Под. ред. В.М. Курейчика. — М.: Физматлит, 2011. — 262 с., с. 85–110.
2. **Рассел С., Норвиг П.** Искусственный интеллект: современный подход, 2-е изд.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.
3. **Thayer J., Ruml W.** Anytime Heuristic Search: Frameworks and Algorithms // Proceedings of the Third Annual Symposium on Combinatorial Search (SOCS-10). 2010. P. 121–128.

Зеар Аунг, Йе Тху Аунг, асп.; рук. И.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ОПОРНЫХ ВЕКТОРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

Современные средства автоматизации позволяют обрабатывать и выполнять анализ сложных многомерных структур данных. В качестве одной из таких структур может рассматриваться нефтяная скважина. Каждая нефтяная скважина характеризуется большим количеством параметров, которые в той или иной степени оказывают влияние на основные контролируемые параметры. В качестве базового метода классификации скважин предлагается рассматривать метод машины опорных векторов (SVM). Метод SVM заключается в решении задачи классификации набора данных на основе построения разделяющей гиперплоскости, максимально удалённой от каждого из кластеров. При этом расстояние от каждого элемента кластера до гиперплоскости пропорционально степени уверенности в его принадлежности. Необходимо не только корректно построить гиперплоскость, но и отделить опорные точки с достаточным коэффициентом надежности.

Предлагается распространить метод SVM на случай множественной классификации [1]. Прежде всего, необходимо уменьшить пространство признаков на основе кросс корреляции. Для осуществления множественной классификации количество применений метода SVM будет зависеть от количества выделенных классов. По отношению к рассматриваемой задаче первая гиперплоскость SVM разделит пространство на два класса режимов снарядного и пузырькового течения. Второй и последующие шаги применения метода SVM к каждому классу позволит получить более точное решение о разделении данных на подклассы. В результате будет получено дерево решений, в каждом узле которого находится запрос к соответствующей гиперплоскости относительно того, с какой стороны гиперплоскости располагаются текущие данные. Расстояние между текущими данными и гиперплоскостью оценивает достоверность достигнутого результата. Использование предлагаемого метода позволит классифицировать текущие данные по различным классам с оценкой достоверности.

Литература

1. F**oody, G., and A. Mathur** “A Relative Evaluation of Multiclass Image Classification by Support Vector Machines.” IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 42 (6), 2004: 1335–1343. doi:10.1109/TGRS.2004.827257.

Н.А. Панявин, студ.; рук. М.М. Маран, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМА ОПТИМИЗАЦИИ ЗАПРОСОВ В СУБД

Базы данных (БД) используются во многих современных программных продуктах. Один и тот же результат можно извлечь из БД с помощью различных запросов. Встроенный в систему управления базой данных (СУБД) оптимизатор выполнения не всегда задает наилучший план. Задача оптимизации запросов ложится на плечи как администраторов БД, так и разработчиков. Мощная инфраструктура и производительность может быть существенно понижена за счет неэффективных запросов даже на простых данных.

В работе рассматриваются способы оптимизации запросов в реляционной СУБД Microsoft SQL Server.

В качестве демонстрационного примера была разработана БД Приемной Комиссии ВУЗа, в которой находится информация о 104 поступающих. Итоговая Рейтинговая Таблица была сформирована различными комбинациями операций объединения, группировки и сортировки, скорость выполнения которых, по большей части, зависит от организации исходных подтаблиц и используемых типов данных.

Возможности ядра DataBase Engine позволяют следить за распределением нагрузки по операциям и ходу выполнения задачи. Стоит отметить, что не все операторы языка равноценны.

В ходе испытаний было проведено сравнение и выявление случаев оптимальности операций [1]:

1. Комбинация WHERE + OR работает гораздо медленнее, чем WHERE + IN или WHERE + BETWEEN;

2. Операцию CASE стоит использовать в случае частого вызова медленно работающих функций;

3. Условия в операции AND стоит располагать в порядке вероятности истинности, это сделано с целью того, чтобы БД не проверяла последующие условия при их проверке. А порядок условий в операции OR — наоборот.

Еще одним способом оптимизации запросов и хранимых процедур является включение в них дополнительных принудительных указаний оптимизатору — хинтов (sql-hints). Например, USE_NL дает преимущество при объединении вложенных циклов на небольших наборах данных, особенно когда они уже отсортированы изначально. Но некоторые из них требуют значительных затрат системных ресурсов, например, USE_HASH. Поэтому хинты стоит использовать с осторожностью.

Литература

1. **James Groff, Paul Wienberg** SQL The Complete Reference // McGrawHill, 2019, — 912 p.

А.И. Маслов, студ.; рук. И.Б. Фоминых, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ)

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПОНЕНТ СИСТЕМЫ РАССУЖДЕНИЙ КОГНИТИВНОГО АГЕНТА В УСЛОВИЯХ ЖЁСТКИХ ВРЕМЕННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Интеллектуальные системы, основанные на знаниях, в настоящее время являются востребованным и гибким инструментом, подходящим для решения различных задач. Однако данные системы часто приходиться использовать для решения задач, для которых характерно существование определённых временных рамок, нарушение которых может повлечь последствия различной тяжести. Системы, работающие в подобных условиях, называются системами жёсткого реального времени (ЖРВ). От когнитивного агента, работающего в режиме ЖРВ требуется умение принимать решения, не выходя за рамки временных ограничений. Из этого следует необходимость реализации темпорально зависимого управления процессом рассуждений когнитивного агента, способного работать в условиях жёстких временных ограничений.

В рамках работы было проведён анализ существующего формализма расширенных шаговых теорий, являющихся представителями семейства активных логик, общая концепция которых была изложена в работе [1]. Концепция расширенных шаговых теорий была выбрана, т.к. обладает следующими важными свойствами: отказ от логического всеведения, самопознание и темпоральная чувствительность. Кроме того, важным аспектом расширенных шаговых теорий является доказанная паранепротиворечивость её аргументационной семантики [2]. В работе были представлены также алгоритмы когнитивного агента, действующего в режиме ЖРВ.

Расширенные шаговые теории опираются на логику предикатов первого порядка. Были изучены существующие библиотеки дедуктивного вывода, реализованные на языке программирования Python. Для реализации программного агента требуется формализовать и описать синтаксис расширенных шаговых теорий. В качестве первого шага был разработан и реализован синтаксический анализатор расширенных шаговых теорий.

Список литературы

1. **Elgot-Drapkin J.** Step Logic: Reasoning situated in time PhD thesis. Department of computer science, University of Maryland, Colledge-Park, Maryland, 1988, 89pp.
2. **Vinkov M.M., Fominykh I.B.** Extended Stepping Theories of Active Logic: Paraconsistent Semantics Communications in Computer and Information Science v.934 Springer, 2018, pp.70–78.

М.В. Черновалова, асп.; рук. М.И. Дли, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ СЛОЖНЫМИ ПРОЕКТАМИ

Существующие в настоящее время подходы к формированию информационных процессов проектного управления не учитывают все особенности данных, которые необходимы участникам проекта по разработке и организации производства сложных технических систем [1,2]. Это обуславливает актуальность создания новых моделей указанных процессов, обеспечивающих поддержку принятия решений по управлению сложными проектами в условиях неопределенности.

Объем информации о проекте и ее структура зависят от этапа его реализации: на начальных этапах превалирует экспертная информация, на последующих этапах накапливаются статистические данные. Для первых этапов разработана нечетко-логическая модель выбора инструментов поддержки принятия решений при управлении сложными проектами. Указанная модель отличается возможностью учета влияния факторов неопределенности и характеристик результатов реализации отдельных этапов, приводящих к изменению планируемых показателей выполнения последующих этапов рассматриваемых проектов. Данная модель также позволяет проводить адаптацию инструментария проектного управления в условиях недостатка достоверной информации о прецедентах применения инструментов в практических ситуациях. Для последующих этапов предложена нейро-нечеткая модель оптимизации графика работ проектов на основе оценки влияния внешних и внутренних факторов неопределенности. Особенность модели заключается в использовании нечетких продукций для анализа отклонений результатов отдельных работ проекта и применении аппарата искусственных нейронных сетей для составления прогнозной оценки длительности работы в условиях ограниченности ресурсов различного вида.

Результативность предлагаемых моделей была подтверждена при моделировании процесса реализации проекта по созданию перспективных гидромеханических систем.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-07-00928.

Литература

1. **Шуваева А.А., Андреев С.Ю.** Методы и инструменты мониторинга и управления работами проекта// Вестник современных исследований. 2018. № 12.7 (27). С. 566–568.
2. **Дли М.И., Стоянова О.В.** Способы представления экспертных данных в системах поддержки принятия решений по управлению сложными проектами //Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016. № 7. С. 21–28.

А.В. Сергеев, асп.; рук. П.Б. Хорев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СТАТИСТИЧЕСКИЙ СТЕГОАНАЛИЗ ДАННЫХ В PDF

В процессе активного развития аппаратных средств вычислительной техники и огромного количества каналов передачи информации появились новые стеганографические методы — методы сокрытия конфиденциальных сведений. Стеганография нашла широкое применение, например, для тайной коммуникации, защиты авторских прав, аутентификации контента и т.д. Сокрытие информации является важной технологией для обеспечения безопасности и целостности текстового содержимого. PDF является одним из самых популярных форматов обмена данными в настоящее время, что позволяет применять их в качестве контейнеров при сокрытии информации.

Исследований, предлагающих методы использования этих файлов в качестве объектов сокрытия информации, очень мало. Один из алгоритмов стеганографии для документов формата pdf, предложенный Shangping Zhong [1], использует оператор «TJ»: выбирается ряд чисел из строк оператора «TJ» и в них внедряются скрываемые данные.

Класс статистических методов стегоанализа [2] использует множество статистических характеристик, таких как: оценка энтропии, коэффициенты корреляции, вероятность появления и зависимости между элементами последовательностей, условные распределения, различимость распределений по критерию Хи-квадрат и многие другие.

В работе рассматриваются статистические алгоритмы [3] и методы выявления стеганографических контейнеров для оценки частотного анализа, оценки энтропии и использования критерия Хи-квадрат. Была предложена стратегия выявления или присуждения документам формата pdf статуса «подозрительных» на возможность наличия сокрытых данных. Результаты работы могут быть использованы в качестве дополнительного критерия для системы мониторинга и расследования инцидентов информационной безопасности.

Литература

1. **Zhong S., Cheng X., Chen T.** Journal of Network Security // Data hiding in a kind of pdf texts for secret communicationl, 2007. Vol. 4(1), p. 17–26.
2. **Westfeld A., Pfitzmann A.,** Attacks on Steganographic Systems// Information Hiding. IH. Lecture Notes in Computer Science, 2001. Vol 1768, p. 61–75.
3. **R.J. Oosterbaan,** Frequency and Regression analysis, Chapter 6. Drainage Principles and Applications, Publication, 16; ILRI: Wageningen, The Netherland, 2003.

А.В. Сергеев, асп.; рук. П.Б. Хорев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ СТЕГОКОНТЕЙНЕРОВ

Стеганография — искусство или наука сокрытия информации в носитель таким образом, чтобы скрытые данные не могли быть обнаружены. Методы стеганографии стремительно развиваются от мультимедийных материалов до сетевой стеганографии. Все эти методы влекут за собой потенциальную угрозу политикам информационной безопасности любого бизнеса, а именно угрозы утечки данных. В этом сценарии коммерческие и некоммерческие организации не могут оставаться в стороне от этих угроз и должны учитывать адекватные политики и методы предотвращения, чтобы избежать этих рисков.

Основные задачи, с которыми приходится сталкиваться инструментам по предотвращению утечек информации (Data Leak Prevention, DLP) и предотвращению атак (Intrusion Detection System, IDS) в настоящее время: аудит данных в пути, политика, социальные сценарии, анализ контекста и контента и так далее. Несомненно, что использование стеганографии — возможно, в сочетании с методами криптографии — может быть новой проблемой, с которой придется столкнуться текущему и будущему программному обеспечению DLP/IDS.

В работе рассматривается вероятная опасность, в которой допускается использование стеганографического инструмента в организации [1], а также о том, насколько легко будет обойти механизм обнаружения DLP. В случае зашифрованного документа эта угроза также может обойти инструмент обнаружения DLP, когда мы отправляем документ, например, по электронной почте. Учитывая эту опасность, можно утверждать, что криптографические методы также могут представлять опасность для сокрытия конфиденциальной информации и ее передачи третьим лицам.

В работе приведены исследования технологии сбора и анализа системами DLP/IDS на базе Snort/Suricata [2], при проведении расследований подозрительной активности, особенности синтаксиса сигнатурных правил, а также представляется концепция алгоритма сбора и анализа информации по обнаружению стегоконтейнера. Результаты работы повысят эффективность работы СЗИ при создании системы мониторинга и расследовании инцидентов информационной безопасности.

Литература

1. **Wendzel S., MazurczykLuca W., Caviglione L., Meier M.** ISSE Securing Electronic Business Processes: Hidden and Uncontrolled — On the Emergence of Network Steganographic Threats, 2014, p. 123-133.
2. Snort (NIDS) [Электронный ресурс], URL: https://www.snort.org (дата обращения: 05.12.2019)

Д.В. Сорока, студ.; рук. О.Л. Моросин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЕГО «КЛАВИАТУРНОГО ПОЧЕРКА»

С расширением сферы информационных технологий наиболее актуальным стал вопрос информационной безопасности хранимых и передаваемых данных. В связи с этим активно развиваются новые технологии защиты информации, в число которых входит биометрическая идентификация, широко использующая в совокупности с другими средствами безопасности. Одним из методов биометрической идентификации является анализ клавиатурного почерка пользователя.

Клавиатурный почерк — это поведенческая биометрическая характеристика, состоящая из паттернов ритма и динамики, характерных для данного оператора при наборе текста [1]. Данную характеристику описывают следующие параметры:

1) скорость ввода всего пароля;

2) динамика нажатия клавиш — характеризуется временем между нажатиями клавиш и временем их удержания;

3) частота возникновение ошибок при вводе;

4) использование клавиш — например, какие функциональные клавиши нажимаются для ввода заглавных букв.

В основу исследования ставилось предположение о том, что каждый человек, подобно рукописному написанию текста, обладает своими особенностями клавиатурного набора, которые достаточно хорошо различимы, подобно тому, как почерк используется для идентификации автора письменного текста [2]. Основной целью работы являлось разработка алгоритмов, которые будут идентифицировать пользователя на основе анализа его «клавиатурного почерка».

В результате исследования было реализовано несколько моделей машинного обучения на основе трех алгоритмов: метод ближайших соседей, случайный лес и логистическая регрессия. Наилучшие результаты были получены ансамблевым методом — «случайный лес». Реализованная модель может быть использована в совокупности с другими методами аутентификации, что повысит точность идентификации пользователя.

Литература

1. **Мюллер А., Гвидо С.** Введение в машинное обучение с помощью Python. Руководство для специалистов по работе с данными. — СПб.: Питер, 2017. — 480 с.: ил. — (Серия «Бестселлеры O'Reilly»).
2. **Казанцев И. С.** Анализ клавиатурного почерка в процессах аутентификации, идентификации и обнаружения подмены оператора // Молодой ученый. — 2016. — №9. — С. 167–169.

Н.С. Скрынников, студ.; рук. О.Л. Моросин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ЗАПРОСОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ИЗ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ

Сегодня различные системы управления базами данных используются повсеместно: в медицине, образовании, бизнесе. Обычно, работа с этими СУБД осуществляется с помощью специализированных языков запросов. Они обычно не предназначены для конечных пользователей, и без предварительной подготовки обработка данных становится затруднительной.

Основной целью данной работы является исследование и разработка алгоритма, способного обрабатывать запросы к структурированным данным на естественном языке. Полученная в результате система должна удовлетворять следующим требованиям: быть простой в использовании, поддерживать синонимы и работать независимо от используемой базы данных.

Идея алгоритма состоит в том, чтобы выделить из текста запроса лексические конструкции, кодирующие интересующие пользователя объекты данных, перевести их в нормальную форму, после чего сформировать конечный запрос. Обработка естественного языка проводилась с использованием парсера контекстно-свободных грамматик [1], трансляция производилась на язык SQL. Для нахождения синонимов использовался алгоритм *word²vec* [2].

В результате был разработан алгоритм, позволяющий взаимодействовать с базой данных на естественном языке. Разработаны методы восстановления недостающей информации из запроса, исходя из истории запросов пользователя. В ходе проведения исследований было показано, что алгоритм выполняет корректную трансляцию запроса в структурированный вид, при этом не будучи жестко зависимым от различных синтаксическим конструкций языка.

Литература

1. **Большакова Е.И., Клышинский Э. С., Ландэ Д.В., Носков А.А., Пескова О.В., Ягунова Е.В.** Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика: учеб. пособие. — М.: МИЭМ, 2011. — 272 с.
2. **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.

Тай Зар Линн, Чан Мин Тху, Наинг Хтет Линн, Мин Хтет,
Зин Мин Ливн, студ., Зеар Аунг, асп.;
рук. И.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Приведенные в действие сотнями компьютерных серверов и способные обрабатывать миллиарды входных данных в режиме реального времени, алгоритмы машинного обучения имеют возможность обрабатывать многомерную информацию. Это позволяет быстро определить тенденции и закономерности в данных, которые в противном случае были бы трудоемкими для обнаружения даже для самых подготовленных экспертов в предметных областях.

Например, при рассмотрении предметной области бурения скважин вместо мониторинга одной переменной, такой как перепад давления в резервуаре, алгоритмы машинного обучения могут принимать во внимание ряд факторов, важных для общей стратегии бурения [1]. К ним относятся оценки оборудования, сейсмические колебания, проницаемость пластов и термические градиенты. Информация регистрируется, обрабатывается и визуализируется с помощью интерфейсов, что позволяет персоналу контролировать общую производительность скважин и принимать более разумные решения, направленные на улучшение их работы.

Программное обеспечение с использованием методов машинного обучения также может применяться для определения потенциально катастрофических событий на скважине, таких как сломанное оборудование, застрявшая труба или выбросы [2]. Анализируя данные, влияющие на вероятность такого события, алгоритмы могут давать рекомендации для системы управления и обслуживающего персонала для её минимизации. Для решения поставленной задачи предлагается использовать один из методов интеллектуального анализ данных — рекуррентные нейронные сети. Данный подкласс нейронных сетей обеспечивает высокую точность распознавания шаблонов ситуаций на контролируемом объекте. Исследования в данной области являются актуальными, учитывая тот факт, что стоимость ремонта оборудования или его простоя может оказаться весьма высока, и необходимо принимать все меры для снижения и устранения таких рисков.

Литература

1. **Владимир Вьюгин.** Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования. — МЦМНО, 2013. — 390 с. — ISBN 978-5-4439-0111-4.
2. **Nello Cristianini, John Shawe-Taylor.** An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-based Learning Methods. — Cambridge University Press, 2000. — 189 p. — ISBN 978-1-139-64363-4.

В.Ю. Жилманов студ.; рук. О.Ю. Шамаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ OPENMP И CUDA ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И РЕАЛИЗАЦИИ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Технологии CUDA и OpenMP активно применяются для ускорения сложных вычислений путём распараллеливания на архитектурах с общей памятью. OpenMP является стандартом распараллеливания, директивы которого встраиваются в программный код, написанный на C++/Фортране. CUDA — программно-аппаратная архитектура параллельных вычислений, применяемая для видеокарт NVIDIA [1].

Сверточные нейронные сети (НС) — специальный вид нейронных сетей, нашедший применение в задачах распознавания изображений. Процесс обучения сверточных НС требует больших вычислительных мощностей. Поэтому при их разработке часто применяют технологии распараллеливания [2].

В работе проектируется несколько архитектур сверточных нейронных сетей. Каждая архитектура подвергается тестам на производительность — измеряется общее время обучения, количество обрабатываемых примеров в единицу времени, количество выдаваемых ответов в секунду, а также непосредственно тестам на точность распознавания. Также сравниваются нейронные сети со сверточными слоями с НС без сверточных слоев.

Обучение нейронных сетей происходит методом обратного распространения ошибки. Метод заключается в минимизации функции ошибки на всех обучающих примера, где функция ошибки $E = \frac{1}{2}(t - y)^2$„ где t — требуемый ответ для обучающего образца, y — действительный ответ сети. Для того, чтобы минимизировать ошибку необходимо подправлять веса после каждого обучающего примера и, таким образом, «двигаться» в многомерном пространстве весов. Этот процесс называется стохастическим градиентным спуском. Он представляет собой большое количество трудоёмких матричных операций. Для его оптимизации в работе применяются вышеописанные технологии распараллеливания.

В докладе приводятся полученные результаты, а именно архитектура оптимальной сверточной НС, время ее обучения и достигнутая точность распознавания, а также её сравнение с другими архитектурами.

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. **Хайкин Саймон**. Нейронные сети. Полный курс. 2018. — 1104 с.

М.Д. Сергеев, студ.; рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБКИХ АЛГОРИТМОВ НА ОСНОВЕ ДЕРЕВЬЕВ РЕШЕНИЙ В ПЛАНЕ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Гибкими называются алгоритмы, качество найденных результатов которых улучшается с увеличением времени работы алгоритма [1].

Задача классификации — формализованная задача, в которой имеется множество возможных ситуаций, разделенных некоторым образом на классы [2]. Задав конечное множество объектов, для которых известно, к каким классам они относятся, получим выборку. Требуется построить алгоритм, способный классифицировать произвольный объект из исходного множества. *Классифицировать объект* — указать наименование класса, к которому он относится. Одним из методов решения задачи классификации является применение деревьев решений (ДР), например, ДР Хёфдинга (HoeffdingTree) [3]. В интеллектуальных системах поддержки принятия решений (ИСППР), особенно в ИСППР реального времени (ИСППР РВ), время, отведенное для решения задачи, ограничено, поэтому требуется применять гибкие алгоритмы, например на основе ДР, способных выдать результат в установленные сроки. В ИСППР РВ целесообразно использовать гибкие алгоритмы, например, HATT (Hoeffding ANYTIME TREE), рассмотренный в данной работе.

В результате проведенных исследований установлено, что гибкие алгоритмы на основе ДР могут быть применимы для поиска решения в ИСППР РВ в условиях достаточно жестких временных ограничений.

Литература

1. **Еремеев А.П., Митрофанов Д.А.** Гибкий алгоритм моделирования иерархических рассуждений для систем реального времени // Интеллектуальные системы. Коллективная монография. Выпуск 5./ Под. ред. В.М. Курейчика. — М.: Физматлит, 2011. — 262 с., с. 85–110.
2. **Н.А. Кузнецов, Ф.Ф. Пащенко, Н.Г. Рябых, Е.М. Захарова, И.К. Минашина.** Алгоритмы оптимизации в задачах планирования на рельсовом транспорте. Информационные процессы, Том 14, номер 4, 2014, стр. 307–318.
3. **Pedro Domingos, Geoff Hulten.** Mining high-speed data streams // Proceedings of the sixth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. ACM. 2000. P. 71–80.

Секция 14.
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И САПР

Председатель секции — Топорков Виктор Васильевич
Секретарь секции — Лешихина Ирина Евгеньевна

И.С. Завалин, студ.; рук. И.Е. Лешихина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В AR-ПРИЛОЖЕНИЯХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ И СБОРОК, РАЗРАБОТАННЫХ В САПР INVENTOR

В настоящее время существуют современные специализированные системы и платформы разработки, предназначенные для создания AR (Argument reality) — приложений, используя модели, разработанные в САПР. Для создания таких приложений используется поверхностное представление объектов. В связи с этим возникает проблема преобразования твердотельных моделей в поверхностные, пригодные для использования в AR-приложениях. В данной работе решается задача импортирования в Unity 3D моделей, разработанных в САПР Inventor.

«Игровой движок» Unity 3D допускает работу с различными форматами 3D-моделей. Однако не все существующие форматы поддерживаются Unity 3D. [1].

В работе была исследована возможность применения CAD-форматов (FBX, OBJ, STL) в Unity 3D. На основании этих исследований определено, что формат STL не поддерживается Unity 3D. Форматы OBJ и FBX корректно импортируются в Unity 3D, однако в Inventor нет возможности представить сборку в формате FBX без использования сторонних программ (например, 3ds Max — ПО для анимации и 3D-моделирования) или установки дополнительных утилит.

В свою очередь формат — OBJ поддерживается, как Inventor, так и Unity 3D, а также корректно импортирует сборку, разработанную в САПР Inventor. Следовательно этот формат, применим для решения поставленной задачи. Формат OBJ содержит в себе все необходимые данные о твердотельной модели: координаты вершин и точек, математическое описание кривых и др. Использование формата OBJ позволяет представить детали, входящие в сборку, как поверхностные модели. При этом информация о связи между собой деталей в сборке не будет потеряна.

По результатам проведенных исследований разработано AR-приложение, позволяющее выполнить необходимые действия над сборкой реального изделия, используемого в строительной отрасли.

Литература

1. Официальный сайт Unity 3D [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://unity3d.com/ru/unity/editor, свободный. (Дата обращения: 02.06.2019)

А. Круглова, студ.; рук. М.А. Пирогова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИЭТР

Технология Дополненной Реальности (ДР, Augmented reality — AR) сегодня активно используется для информационного сопровождения автоматизированной разработки и эксплуатации сложных изделий. Разработка интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР) в виде разнообразных инструкций по монтажу, эксплуатации и ремонту изделий осуществляется с помощью платформ ДР. Для разработки соответствующих приложений, для промышленных целей используются коммерческие платформы (например, Vuforia Studio от компании PTC). В данном исследовании для разработки Приложения ДР, реализующего ИЭТР монтажа и демонтажа типового элемента Промышленного интернета вещей на основе микрокомпьютера RPi B3, использовалась платформа разработки AR Vuforia Engine + Unity 3D. Выбранная платформа обладает недостатком — невозможностью использования для визуализации трехмерного контента твердотельных 3D-моделей САПР, но поддерживает большое количество форматов для поверхностных 3D-моделей. Это противоречие между необходимостью извлечения в Приложении ДР полноценной информации из моделей промышленных САПР и ориентацией Vuforia+Unity на поверхностные модели было преодолено в работе за счёт конвертации элементов сборки в формат.max — «родной» формат системы 3ds Max — который импортируется в Unity [1].

Важнейшим этапом разработки Приложения ДР стало создание сценария работы Приложения ДР, включающего интерактивную инструкцию по монтажу/демонтажу «умной вещи» и содержащее образовательную составляющую, необходимую для корректной сборки устройства. При создании ИЭТР решены следующие задачи: разработаны сборочная 3D-Модель типового элемента IIoT и анимации монтажных операций, пользовательские кнопки, для реалистичности AR-Приложения добавлены модели человеческих рук, которые производят монтажные операции.

В результате разработано Приложение ДР, являющееся интерактивной инструкцией по монтажу/демонтажу «умной вещи».

Литература

1. Дополненная реальность: возможности применения для поддержки полного жизненного цикла изделия / В.А. Краюшкин, М.А. Пирогова, И.Е. Лешихина // НТ Журнал «Информационные технологии в проектировании и производстве». — 2017. — №1 (165) — С. 16–25.

Д.П. Сукачева, студ.; рук. М.А. Пирогова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕРАКТИВНЫХ ОПИСАНИЙ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Дополненная реальность (ДР, *Augmented Reality — AR*) — технология добавления виртуальных объектов к транслируемым на экран мобильных устройств (МУ), снабженных камерой и специальным ПО, элементам реальности. ДР активно внедряется в обучении как вспомогательное средство для усиления наглядности, визуализации процессов, демонстрации инструкций при обслуживании сложных объектов, упрощая понимание и улучшая качество образования [1].

В данной работе с использованием общедоступной платформы разработки AR Vuforia Engine + Unity^{3}D разработано Приложение ДР, реализующее сценарий дополнительного сопровождения выполнения студентами лабораторных занятий по курсу «Компьютерная графика» (КГ). Особенностью разработанного для мобильного устройства (МУ) Приложения является использование разнообразного контента: постраничное представление Описания Лабораторных работ (ЛР), видео, 3D-модель, что создает дополнительное качество получаемой обучающимися информации. При этом реализован т.н. многотаргетный режим работы Приложения ДР — при наведении на разные метки для распознавания (таргеты) на экране МУ появляются разные элементы контента, в зависимости от тематики разделов описания ЛР. Основными проблемами при создании Приложения были: установление однозначного соответствия между очередным таргетом и целевым элементом контента, имитация листания страниц описания ЛР с использованием 2D-изображений, разработка демонстрационных 3D-моделей в форматах, приемлемых для выбранной платформы ДР. Решения были найдены за счет использования средств платформы ДР, встраиваемых скриптов на языке C# и использования САПР, имеющих возможность сохранения моделей в форматах MAX, FBX либо OBJ.

В результате разработано Приложение ДР для МУ, являющееся интерактивным дополнением к описанию ЛР по курсу КГ.

Литература

1. Дополненная реальность: возможности применения для поддержки полного жизненного цикла изделия / В.А. Краюшкин, М.А. Пирогова, И.Е. Лешихина // НТ Журнал «Информационные технологии в проектировании и производстве». — 2017. — №1 (165) — С. 16–25.

С.А. Грунь, студ.; рук. В.А. Павлюков, к.т.н., доц. (ГОУВПО ДонНТУ)

СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

На кафедре «Электрические станции» ДонНТУ разработана учебная САПР электрической части станций и подстанций [1]. Основной проектной процедурой указанной САПР является расчет токов симметричных КЗ в электроустановках трехфазного переменного тока. Его алгоритм построен на методике [1]. Для тестирования этой процедуры был выбран контрольный пример, предложенный в [2] для схемы с несколькими ступенями трансформации. В результате тестирования было получено максимальное отличие суммарных значений периодических слагаемых токов КЗ, равное 5%. Для выяснения природы указанной разности в расчетах была изучена методика расчета по [2] и определены ее основные отличительные особенности по сравнению с методикой [1].

Различие расчетов вызвано местом размещением ЭДС источников питания. В [1] они устанавливаются в одних местах с их сопротивлениями, что позволяет более полно учитывать особенности различных систем возбуждения и предшествующие КЗ режимы работы электрических машин. В [2] единственная ЭДС, равная номинальному напряжению, умноженному на коэффициент С, устанавливается в точке КЗ.

Кроме того к преимуществам методики и алгоритма из [1] следует отнести применение в расчетах токов КЗ относительных единиц позволяет формировать более универсальные алгоритмы для расчетных схем произвольной конфигурации. А учет параметров электрической дуги позволяет более точно моделировать режимы КЗ в электроустановках напряжением менее 1 кВ.

К преимуществам методики расчета КЗ [2] следует отнести отсутствие разделения методик расчета токов КЗ в электроустановках больше и меньше 1 кВ, что позволяет применять единые алгоритмы расчета для всех электроустановок переменного тока.

Проведенные исследования позволяют в дальнейшем расширить функциональные возможности рассматриваемой САПР.

Литература

1. **Руководящие указания** по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. РД 153–34.0–20.527–98: учебное пособие. — Москва: ЭНАС, 2013. — 152 с.
2. IEC 60909Short-circuitcurrentsinthree-phasea. c. systems — Part 0: Calculationofcurrents. — International standard, 2016. — 149 с. — Part 4: Examplesforthecalculationofshort-circuitcurrents. — International standard, 2000.
3. **Павлюков В.А.** Учебная САПР электрической части станций и подстанций [учебное пособие] / Павлюков В.А., Ткаченко С.Н., Коваленко А.В. — Харьков: ФЛП Панов А.Н., 2016. — 124 с.

Е.А. Яковлева, М.Р. Герасименко, студенты;
рук. В.А. Павлюков, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

ПРИМЕНЕНИЕ САПР В УЧЕБНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТЭС

На электротехнических факультетах вузов стран СНГ разработано большое количество учебных программ, связанных с проектированием электроустановок переменного тока. Лидирующее место среди них занимает кафедра Электрических станций МЭИ. Созданные на ней программные продукты широко используются как в учебном, так и промышленном проектировании [1, 2]. В основу их разработки положен так называемый позадачный метод автоматизации расчетов.

Учебная САПР электрической части станций разработана на кафедре ЭС ДонНТУ. При ее разработке использован интегральный подход, основанный на объединении отдельных проектных процедур в укрупненные подсистемы. Основой для объединения послужили модели объектов в виде расчетных схем, построенные на сочетании графических образов и связанных с ними таблиц с символьной информацией. Так, например, в графической части подсистемы проектирования ТЭС размещается схема главных электрических соединений ЭС и основные цепи системы с. н. напряжением 6 (10) кВ, а в символьной — информация о фидерах секций с. н. В эту подсистему объединены процедуры расчета токов КЗ, выбора оборудования и токопроводов, расчета пусков и самозапусков двигателей.

Платформой для разработки была выбрана САПР AutoCAD фирмы AutoDesk, включающая внутренние алгоритмические языки программирования и создания диалоговых окон. Символьное информационное обеспечение построено на электронных таблицах MC Excel. Взаимосвязь указанных двух систем — на применении COM технологии фирмы MC.

Разработанная учебная САПР в течение ряда последних лет широко используется студентами ВУЗа при выполнении курсовых и квалификационных работ.

Литература

1. **Крючков И.П., Старшинов В.А., Гусев Ю.П. и др.;** под ред. Крючкова И.П., Старшинова В.А. Короткие замыкания и выбор электрооборудования: учебное пособие для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
2. Кафедра «Электрические станции» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://es.mpei.ac.ru/GuFiles/КоммерческоеПредложениеМЭИ. pdf
3. **Павлюков В.А., Ткаченко С.Н., Коваленко А.В.** Учебная САПР электрической части станций и подстанций. — Донецк: Изд-о «Цифра», 2016.

студ. А. В. Крупецков; рук. М.В. Фомина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОСТРОЕНИЕ НЕЧЕТКИХ ДЕРЕВЬЕВ РЕШЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

В рамках машинного обучения и, конкретнее, обнаружения знаний в базах данных одной из наиболее важных задач является поиск скрытых закономерностей в данных (Data Mining), эта задача включает в себя подборку моделей и выявление классов на основе предъявленных входных данных [1]. К методам, применяемым в анализе данных, относятся кластеризация — обнаружение среди объектов обучающей выборки схожих друг с другом и объединение их в группы и классификация — определение функции, способной отнести конкретный, не классифицированный, элемент выборки к одному из заранее известных классов [1].

В работе был рассмотрен алгоритм UD3, формирующий решающие правила в виде дерева решений разработанный С. Фахрамадом и С. Джафари [2]. К достоинствам алгоритма UD3 относятся возможность построения небинарных решающих деревьев, способность обрабатывать неполные и неточные данные, при этом строится система решающих правил, которым сопоставляются оценки достоверности confidence и support. По результатам эксперимента, представленным в [3], было показано, что данный алгоритм по сравнению с аналогами обладает меньшей вычислительной сложностью, но при этом требует больший объём задействованной памяти.

Предлагается использовать метод предварительной кластеризации обучающей выборки с использованием алгоритма К средних. Этот алгоритм позволяет выбрать заранее число кластеров для разбиения обучающей выборки на основе анализа информации, доступной из входных данных. Предполагается, что применение данных двух алгоритмов в совокупности позволит сократить затраты памяти и уменьшить глубину решающих деревьев за счёт предварительной кластеризации.

Литература

1. **Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М.В.** Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах. М.: Физматлит, 2008.
2. **S.M. Fakhrahmad, S. Jafari.** Uncertain Decision Tree Inductive Inference, World Congress of Engineering 2008.
3. **В.Н. Вагин, А.В. Крупецков, М.В. Фомина** Алгоритм построения деревьев решений при наличии противоречий в данных/ Семнадцатая Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ — 2019. Сборник научных трудов. Ульяновск: УлГТУ, 2019 Том 2 с. 182–191.

П. Ч. Чинчаров, студ., М.О. Григоренко, студ.,
Л.А. Старостина, к. т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ И СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ РАЗМЕЩЕНИЯ РАЗНОГАБАРИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПЛАТЕ

Размещение элементов на плате необходимо, чтобы обеспечить наилучшие условия для проведения трасс. Любая автоматизированная система проектирования РЭА содержит программы размещения, алгоритмы которых существенно влияют на качество последующей трассировки. Наиболее алгоритмически сложными являются программы размещения разногабаритных элементов. Эти алгоритмы наименее исследованы, поэтому тема актуальна. В работе сравниваются, реализованные авторами на C++ алгоритмы размещения методом центральных линий, методом углов, а также предложенная авторами модификация алгоритма размещения методом центральных линий. Суть изменений состоит в том, что в первую очередь размещаются элементы, стороны которых >= 0,5 стороны платы. Введено правило выбора начальной точки для очередного размещаемого на плате элемента, в процессе размещения учитываются указания разработчика. Для оценки качества размещения рассматриваемыми алгоритмами используются два критерия процент заполнения площади платы элементами и суммарная длина соединений между контактами элементов. Проведенный эксперимент по сравнению качества размещения для всех трех алгоритмов на одинаковых наборах данных показал лучшие результаты у модифицированного авторами алгоритма «метода центральных линий» на схемах с крупногабаритными элементами, здесь наблюдается выше процент заполнения платы по сравнению с другими алгоритмами Однако, алгоритм проигрывает не модифицированному, основанному на методе центральных линий по суммарной длине соединений. Дальнейшие исследования планируется провести в направлении сравнения полученных результатов с результатами работы генетических алгоритмов.

Литература

1. **Рубляускас, Д. А** Исследование и разработка методов и алгоритмов размещения разногабаритных элементов при автоматизированном проектировании ЭВА и РЭА /диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (05.13.12) / Каунасский политехнический институт им. Анастаса Снечкуса. — Каунас, 1984. — 115 с.

Секция 15.
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ, СЕТИ И СИСТЕМЫ

Председатель секции — Абросимов Леонид Иванович
Секретарь секции — Руденкова Маргарита Андреевна

Артюхов О.И., Ткачев А.С. (Москва, НИУ Московский энергетический институт, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРМИНАЛЬНЫМ ДОСТУПОМ

В представленном докладе рассматривается проблема организации оптимального в экономическом и техническом смыслах вычислительного процесса, а также основные подходы к организации вычислений с развитием аппаратной и программной составляющих вычислительной техники.

В настоящее время применяемые, как на ПК, так и на специализированных рабочих станциях способы предоставления терминального доступа используют очень схожие с централизованной архитектурой принципы, основанные на переносе громоздких вычислений и хранения основных данных опять на сторону центра — сервера.

Рассматриваемые средства управления терминальным доступом (далее терминальные комплексы) являются системным решением повышения информационной безопасности организации. Снижение затрат на стоимость и обслуживание клиентских рабочих мест, больший срок службы терминальных станций позволяют ускорить сроки окупаемости проектов по внедрению терминальных рабочих мест

Концепция облачных вычислений в сочетании с известными клиент-серверными механизмами предлагается в качестве архитектуры для проектирования комплексного системного решения, предназначенного для создания защищённых автоматизированных систем и для обеспечения эффективного и безопасного доступа к сетевым информационным ресурсам за счёт переноса вычислений на сторону сервера. В структуре комплекса можно выделить три базовых элемента: терминальное устройство (попросту, терминал), терминальный сервер и сервер приложений.

Сервером приложений может быть любой выделенный сервер, предоставляющий услуги и приложения, необходимые для работы операторам терминалов. Именно на нём запускаются серверные части классических терминальных систем, таких как RDesktop, VNC, Citrix ICA, OpenSSH или X11 [1].

Вместо локального администрирования каждого рабочего места (как это было в классической терминальной технологии) администратор централизованно управляет всем парком терминалов через терминальный сервер. Очевидно, что последний идеологически и концептуально напоминает MS Active Directory [2], но, в отличие от последнего, ориентирован на автоматизированное или полуавтоматическое администрирование предоставляемого именно каждому пользователю терминального доступа к серверу приложений. Администратор же просто регистрирует учётные записи пользователей, указывая каждой разрешённые функции и доступные сессии для серверов приложений. Для пользователя остаётся прозрачным получение доступа к ресурсам и приложениям, независимо от выбранного им рабочего места.

Предлагаемое в виде терминального комплекса решение обеспечит следующие преимущества: безопасность, управляемость, экономическую эффективность.

Литература

1. **Петухов Р.Н.** Применение технологии «тонкий клиент» на промышленных предприятиях // Молодой ученый. — 2016. — №17. — С. 71-74. — URL https://moluch.ru/archive/121/33486/.
2. **Дэн Холме, Нельсон Рэст** Настройка Active Directory. Windows Server 2008. Официальные издания Microsoft Press – Изд-во «Русская Редакция», 2009. — 960с.

П.А. Маркелов, студ.;
рук. С.В. Борисова, к.т.н., проф. А.Ф. Крюков (НИУ «МЭИ»)

ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ЭКСПОРТА ДАННЫХ ИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ В МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ

Современное управление предприятием невозможно представить без использования автоматизированных систем, которые позволяют в кратчайшие сроки и эффективно решать многочисленные управленческие задачи. Такие системы обрабатывают и хранят большие объёмы данных. Современные компании для этих целей используют ERP-системы [1]. К широко используемым ERP-системам в настоящее время относятся, например, зарубежные SAP, Microsoft Dynamics, отечественные 1С и другие. Важным преимуществом этих систем является удобство работы с данными. Однако, часто приходится решать локальные задачи с помощью различных приложений (в частности мобильных), которые нуждаются в исходных данных, которые импортируются из ERP-систем. В настоящей работе в качестве основного формата выгружаемых данных рассматриваются Excel-таблицы. Обычно данные, с которыми работают приложения, организуются в базы данных. В связи с этим встаёт задача формирования структуры базы данных на основе полученных Excel-файлов. Таким образом, необходимо создать инструмент, который на вход получает Excel-таблицы. После чего пользователь с помощью удобно интерфейса создает структуру своей БД. В результате на выходе получается файл, который хранит готовую базу с данными, которые в дальнейшем могут использоваться в различных приложениях.

В работе показана разработка программного инструмента, реализующего поставленную задачу. Предложен удобный интерфейс. При практической реализации были обоснованно использованы технологии: БД SQLite и C# для создания Windows Forms приложения.

Литература

1. ERP-система [Электронный ресурс] — URL https://ru.wikipedia.org/wiki/ERP.
2. **О.Н. Евсеева, А.Б. Шамшев.** Работа с базами данных на языке C# технология ADO .NET: учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2009 г.
3. Работа с серверами автоматизации Word и Excel в Visual Studio .NET [Электронный ресурс] — URL http://wladm.narod.ru/C_Sharp/componentbegin.html.

Н.Г. Бабак, студ.; рук. А.Ф. Крюков, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОДХОД К ХРАНЕНИЮ КОНФИДЕНЦИАЛЬНЫХ ДАННЫХ НА МОБИЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ

Для людей всегда актуальна проблема защиты их личных данных. Компьютерные устройства в настоящее время используются пользователями, например, для совершения электронных платежей, а такие операции обязательно должны сопровождаться мероприятиями по обеспечению конфиденциальности личных данных. Более того, даже при простом общение пользователей через Интернет необходимо шифровать передаваемые сообщения.

Исходя из сказанного выше, возникает задача защиты данных пользователей не только при работе с конфиденциальными документами, но и при повседневном использовании компьютерных устройств.

Когда стоит задача защиты информации, то всегда подразумевается наличие пароля в том или ином виде. Использование простых паролей, например, имени и даты рождения, небезопасно, поэтому необходимо придумывать сложные пароли, желательно случайно сгенерированные. Но так как запомнить сразу несколько разных и сложных паролей не всегда просто, то можно использовать менеджеры паролей.

Существующие решения имеют следующие недостатки: проблема доступности данных для локально хранящихся данных и проблема надёжности сервера для данных, хранящихся на сервере разработчика.

Для решения описанных выше проблем разработано мобильное приложение на базе операционной системы Android и веб-приложение на языке программирования Java [1]. В мобильном приложении пользователю предоставляется возможность зарегистрироваться и сохранить свои данные, которые шифруются криптографическим алгоритмом AES [2]. Веб-приложение предоставляет авторизованным пользователям возможность запросить свои данные из Android-приложения. После подтверждения на мобильном устройстве данные, зашифрованные алгоритмом RSA [3], передаются на веб-страницу, откуда осуществлялся запрос.

В результате исследования существующих решений и разработки менеджера паролей был реализован подход к локальному хранению конфиденциальных данных с возможностью удалённого доступа.

Литература

1. **Eckel B.** Thinking in Java, Fourth Edition // Prentice Hall, 2006. 1458 p.
2. FIPS 197, Advanced Encryption Standard (AES). URL: https://csrc.nist.gov/publications/detail/fips/197/final
3. **Сонг Ян.** Криптоанализ RSA // Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2011. 312 с.

И.А.Черешнев, студент; рук. С.В.Борисова,
к.т.н., проф. А.Ф.Крюков (НИУ «МЭИ»)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТУРИСТИЧЕСКОЙ ФИРМЫ

Построение информационной системы для определённой предметной области на сегодняшний день не является для разработчиков трудно выполнимой задачей. Намного сложнее представляется создание инструмента при использовании быстрых методов доступа к данным, а также обеспечение их защиты при передаче и хранении данных. В предлагаемой работе рассматривается процесс разработки автоматизированной информационной системы для туристической фирмы. Уделено внимание обеспечению безопасности её работы.

Для решения поставленной задачи первоначально была сформирована база данных для хранения информации о заказах турфирмы, размер которой можно изменять динамически. На основе базы данных разработана информационная система для туристической фирмы. Осуществлять поиск информации в ней можно с применением алгоритмов последовательного и двоичного поисков. Был проведён эксперимент, который доказал, что применение бинарного поиска ускоряет процесс нахождения информации в системе. Администратор системы имеет возможность не только модификации данных, но и отслеживания изменений сущностей.

В результате анализа алгоритмов шифрования Triple DES и AES было выявлено, что зашифрованное резервное копирование эффективнее осуществлять с использованием алгоритма AES-256. Для осуществления дополнительной безопасности в исключительных случаях в системе предусмотрена возможность шифрования данных на основе алгоритма RSA.

Разработанное приложение ориентировано на использование в среде ОС Windows.

Литература

1. https://tproger.ru/articles/db-security-basics/
2. https://searchinform.ru/informatsionnaya-bezopasnost/
3. https://www.sybase.ru/products/powerdesigner
4. http://www.intuit.ru/studies/courses/648/504/lecture/11466

С.В. Нифонтов, асп.; рук. М.К. Чобану, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МНОГОУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ LDR В HDR

Преобразование содержимого сцены современных камер (S) в LDR-изображение (I) зависит от времени экспозиции (Δt) и основывается на функции отклика камеры (Camera Response Functions — CRFs) [1]:

$$I = f_{CRF}\,(S \times \Delta t) \quad (1)$$

Существующие CRFs не могут исправить влияние неподходящего времени экспозиции. Один из подходов автоматического корректирования недоэкспонированных и переэкспонированных участков изображения — использование сверточной нейронной сети, восстанавливающей недостающую детальную информацию в HDR (High Dynamic Range) изображении [2].

В данной работе осуществляется сравнительный анализ одноуровневой и многоуровневой моделей сверточных нейронных сетей [3, 4], которые помимо различных архитектур, также имеют разные активационные функции и функции потерь.

Многоуровневая модель имеет три уровни: на локальном уровне анализируется высокочастотная детализация, на уровне расширения — среднечастотная детализация, на глобальном уровне осуществляется учет характеристик более высокого уровня.

Сравнение восстановленных многоуровневой моделью изображений с ground truth изображениями посредством метрики HDR-VDP-2 показало следующие результаты: среднее значение Q Score — 74.35 и SSIM индекса — 0.79.

В ходе данного анализа можно выделить следующие достоинства использования многоуровневой модели: избавление от слоев интерполяции, разделение обработки информации с дальнейшей возможностью распараллеливания.

Литература

1. **P. Debevec and J. Malik.** Recovering high dynamic range radiance maps from photographs. // In ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH), 2008.
2. **Gabriel Eilertsen, Joel Kronander, Gyorgy Denes, Rafał K. Mantiuk, Jonas Unger.** *HDR image reconstruction from a single exposure using deep CNNs.* In: ACM Transactions on Graphics (Proc. of SIGGRAPH Asia 2017), 36(6), Article 178, 2017.
3. **X. Yang, K. Xu, Y. Song, Q. Zhang, X. Wei, and R. W. Lau.** Image correction via deep Reciprocating HDR transformation. In Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Jun 2018, pp. 1798–1807.
4. **D. Marnerides, T. Bashford-Rogers, J. Hatchett and K. Debattista** ExpandNet: A Deep Convolutional Neural Network for High Dynamic Range Expansion from Low Dynamic Range Content // Comput. Graph. Forum — 2018. — Vol. 37. — No 2. — pp. 37–49.

Н.С. Рыженков, студ.; рук. С.В. Борисова (НИУ «МЭИ»)

РАСПОЗНАВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Была поставлена задача создания приложения, распознающего элементы электрической схемы и её дальнейшей визуализации. Приложение должно использовать технологии компьютерного зрения и дополненной реальности.

Для распознавания элементов была создана нейронная сеть. Сеть состоит из трех слоев. На вход нейронной сети подаются изображение 28x28 пикселей. Одной из важных характеристик нейронной сети является вероятность распознавания объекта. Вероятность распознавания объекта — это отношение количества правильных ответов нейронной сети (n) к общему количеству экспериментов. Были произведены измерения зависимости вероятности распознавания от количества узлов в скрытом слое, количества «эпох», количества обучающих изображений и коэффициента обучения.

На данный момент нейронная сеть распознает следующие электрические элементы: конденсатор, резистор и ЭДС. Планируется пополнение базы элементов распознавания.

После распознавания отображается нужная 3D-модель. Были созданы 3D-модели резистора (рис.1) и вольтметра. Для создания 3D-модели было использовано приложение Blender для создания трехмерной компьютерной графики.

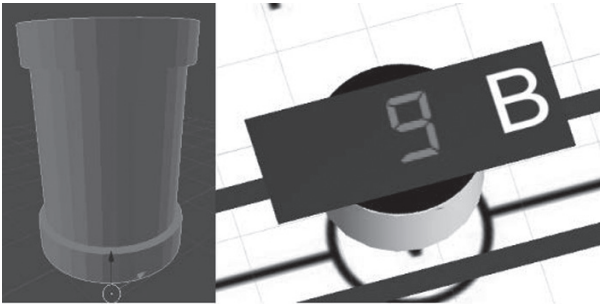


Рис. 1. Демонстрация 3D-моделей резистора и вольтметра

Литература

1. **Девид А. Форсайт, Джин Понс** Компьютерное зрение. Современный подход, М. «И.Д. Вильямс», 2018.
2. **Рашид Тарик** Создаем нейронную сеть, СПб. «Альфа-книга», 2018. 208с.

А.А. Гаврилов, С.Д. Блаженова, студенты; рук. С.В. Борисова, ст. преподаватель, А.Н. Зейн, ассистент, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

БАЗА ДАННЫХ И КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ, ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВЫБОРУ НАСТРОЕК ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Современные программные комплексы (ПК) для численного моделирования энергетических процессов обладают широкими возможностями для тонкой настройки решения задачи. Некорректная настройка может привести к существенному отклонению результата расчета от эксперимента (до 90%).

Таким образом, было решено разработать программное обеспечение (ПО) для хранения, обработки и анализа рекомендаций по выбору настроек ПК. Решение этих задач поможет значительно повысить точность и снизить трудоемкость численного моделирования.

Разработанное ПО состоит из базы данных, которая предназначена для хранения настраиваемых параметров ПК, а также клиент-серверного приложения для работы с ней [1], которое предлагает удобное рабочее пространство для пополнения, поиска и анализа данных внутри базы.

Для реализации поставленных задач моделирования и оптимизации запросов поиска существующих или добавления новых расчетных случаев, параметров, настроек сетки и решателя, а также видов оборудования было решено использовать в базе древовидную табличную структуру [2].

Пользователь данного ПО имеет возможность сформировать свою уникальную задачу, проведя моделирование, пополнить базу расчетными случаями и осуществить поиск настроек, при которых погрешность результатов будет минимальна. Крупные предприятия, которые уже имеют значительный объем экспериментальных данных, могут заполнять ее своими собственными параметрами, что позволяет структура базы. А малые предприятия, у которых недостаточно опыта для выбора оптимальных настроек, могут использовать уже существующие результаты моделирования.

Литература

1. **Васюткина И.А.** Разработка приложений на C# с использованием СУБД PostgreSQL / — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. — 143 с.
2. **Новиков, Б.А.** Основы технологий баз данных /— Москва: ДМК Пресс, 2019. — 240 с.

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

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА УВЕЛИЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫДЕЛЕННЫХ ОБРАЗЦОВ

В тезисе [1] описана актуальность проблемы улучшения разрешения изображения. Объектом исследования выбрана научная работа [2], в которой предлагается восстановить на каждом пикселе его наилучшее возможное увеличение разрешения. Описанный ниже алгоритм отличается от алгоритма в статье [2] тем, что производится улучшение изображения, увеличенного в 2 раза с использованием свертки, используя образцы лишь на одном масштабе.

Алгоритм улучшения состоит из следующих шагов:

1) собираются образцы N*N (для N=3) пикселей и образуется словарь соответствующих образцов 2N*2N.

2) Для каждого пикселя строится окрестность N*N и она ищется в словаре.

2.1) Если найдено, то образец готов и переходим к обработке следующего пикселя.

2.2) Иначе ищем $k=N^2$ образцов, используя алгоритм поиска k ближайших соседей.

2.3) Если k соседей найдено, определяем коэффициенты, с которыми надо сложить найденные образцы для получения образца из изображения, используя СЛАУ с $k=N^2$ уравнениями.

3) Из полученного образца 2N*2N выбираются 4 центральных пикселя и записываются в выходное изображение.

Данный алгоритм будет реализован на языке программирования C++ с использованием библиотеки компьютерного зрения OpenCV. Результатом станет программа, обрабатывающее изображения и улучшающая их разрешение.

Список использованных источников

1. МЕТОД УВЕЛИЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫДЕЛЕННЫХ ОБРАЗЦОВ / РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Двадцать пятая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (14–15 марта 2019 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2019. — 1060 с. ISBN 978-5-905486-47-0.
2. URL: Super-Resolution from a Single Image [http://www.wisdom.weizmann.ac.il/~vision/single_image_SR/files/single_image_SR.pdf].

М.С. Гнутов, адъюнкт; рук-ли А.Б. Сизоненко, д.т.н., доц. (КВВУ, Краснодар); С.К. Гнутов, к.т.н. (фил. ВУНЦ ВВС «ВВА» г. Сызрань)

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ КАК ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГЕТЕРОГЕННЫХ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ

Использование программных средств защиты информации (далее — СЗИ) в режимах повышенного контроля в распределенных автоматизированных системах (далее — РАС) зачастую приводят к возникновению конфликта в плане перераспределения информационных мощностей системы между «интересами пользователя» (требованиями к быстродействию РАС) и потребностью в обязательном обеспечении информационной безопасности. Из этого вытекает противоречие — при повышении защищенности РАС повышается риск нехватки системных ресурсов (математических вычислений) для работы и мониторинга информационной системы в режиме реального времени. Таким образом, имеется два направления использования ресурсов РАС, к которым должен применяться наивысший приоритет.

На практике, в существующих РАС для сохранения быстродействия часто применяют метод упрощения модели нарушителя, программно закрывая ряд уязвимостей, но уменьшая функционал СЗИ, что не всегда коррелирует с требованиями нормативно — правовых актов в сфере защиты информации (далее — ЗИ).

Математические вычисления на графических процессорах (далее — GPU) могут применяться в достаточно узком секторе задач из-за специфичной архитектуры ядер. Однако, работа ряда модулей СЗИ РАС достаточно циклична, что позволяет, разработав алгоритмы управления, применять вместо ядра центрального процессора (далее — CPU) множество имеющихся ядер GPU для расчетов в интересах ЗИ. Примечательной особенностью GPU является ориентированность на множественные параллельные вычисления, что подразумевает огромную производительность в специфичных задачах, использующих параллельные вычисления.

Проведя сравнение обобщенных схем вычислений n количества задач с использованием вычислительного модуля CPU и вычислений на GPU, актуально рассмотреть способ повышения эффективности использования ресурсов РАС с применением вычислительных возможностей GPU в условиях воздействия различных угроз безопасности.

Е.В. Алпеев, адъюнкт; рук-ли А.Н. Стадник, к.в.н.;
И.Д. Королев, д.т.н., проф (КВВУ, Краснодар)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ АТАК С ЦЕЛЬЮ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО СПОСОБА ОБНАРУЖЕНИЯ

В настоящее время тематика идентификации компьютерных атак обусловлена существующими тенденциями использования информационных технологий.

Для обнаружения и идентификации компьютерных атак в защищаемых системах применяются соответствующие системы обнаружения компьютерных атак (далее — СОА). Современные СОА, как правило, функционируют для обнаружения одного из двух классов обнаружения атак. Первый класс атак можно обнаружить методами, в которых уже описаны существующие атаки, развивающиеся по определенному сценарию (сигнатурный метод). Второй класс атак можно обнаружить методами выявления аномалий — отклонение от нормального поведения защищаемой системы (поведенческий метод).

В статье проводится анализ наиболее применяемых в СОА методов обнаружения компьютерных атак. В результате анализа определяются наиболее эффективные методы, а также их недостатки.

Также проводится анализ СОА часто эксплуатируемых в Российской Федерации. В результате проведенного анализа СОА предлагаемых и применимых в нашей стране наблюдаются одни и те же принципы обнаружения и идентификации компьютерных атак (воздействий), основанные на сигнатурном методе, выполняющие свою функцию, но при этом не адаптированные к неизвестным атакам.

В свете вышеизложенного, рассматривается перспектива разработки комплексного способа обнаружения и идентификации компьютерных атак (воздействий), который объединит сигнатурный метод и метод на основе интеллектуальных систем. Объединение этих методов поможет повысить вероятность обнаружения компьютерных атак (воздействий) на защищаемую систему.

А.А. Кобзева, студ. (НИУ «МЭИ»), В.А. Кобзев студ. (МГТУ им. Баумана), рук. А.А. Шовколович, к.т.н. ст. науч. сотруд. (АО «Концерн «ВЕГА»)

ОЦЕНКА ЗАТРАЧИВАЕМЫХ РЕСУРСОВ ПЛИС ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ СИНУС НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В последние годы становятся популярны нейронные сети. Так как они способны к решению математических задач, встает вопрос об использовании этого инструмента в области радиоэлектронных систем [1]. Радиоэлектронные системы используют программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). В связи с этим становится актуальным использование нейронных сетей, построенных на ПЛИС, в области радиоэлектроники, а так же оценка возможности реализации сетей в топологии ПЛИС.

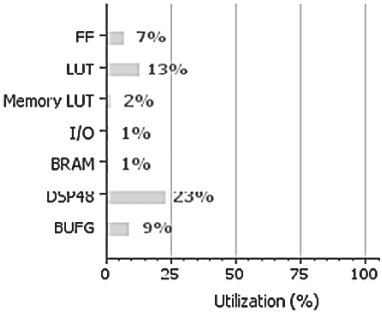


Рис. 1. Процентная загрузка каждого вида ресурсов, задействованных для блока из десяти нейронов;

Для оценки ресурсов решим простую задачу расчета тригонометрической функции синус с помощью нейронной сети из 10 нейронов с сигмойдной функцией активации. Для обучения нейронной сети используется пакет прикладных программ MathWork Matlab, в частности пакет Neural network. После обучения нейронной сети, коэффициенты весов и смещения для каждого нейрона передаются в память платы ZYNQ-7 ZC706, откуда будут загружены при старте работы программы к каждому нейрону в теле ПЛИС [2]. Программа в плате состоит из блоков нейронов, где каждый нейрон состоит из нескольких, так называемых, ip-ядер [2], отвечающих за определенную операцию.

На рисунке 1 показано, какое количество ресурсов каждого вида задействовано в процентном отношении, для данной нейронной сети. Зная количество ресурсов задействованных в обработке одного нейрона и сети с сумматором можно оценить сколько нейронов возможно обработать за один такт работы ПЛИС, а так же необходимый размер кристалла, в случаи работы с большими сетями из множества нейронов на высоких скоростях обработки данных.

Литература

1. **Татузов А.Л.** Термодинамические Нейронные сети в задачах радиолокации Кн. 28. — М.: Радиотехника, 2009. — 432 с.
2. XILINX [Электронный ресурс]. URL: https://www.xilinx.com/ (дата обращения: 02.10.2019).

Э. А. Челышев, Д. В. Шибитов, студенты; рук. М. А. Руденкова, асс. (НИУ «МЭИ»)

КОНФИГУРАЦИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОГО УЧЕБНОГО СТЕНДА

KVM (Kernel-based Virtual Machine) — технология и программное обеспечение с открытым исходным кодом, обеспечивающие виртуализацию в среде Linux. Существуют различные решения для создания виртуальной сети передачи данных в KVM [1]. Данный доклад посвящен разработке виртуальной сети передачи данных с использованием данной технологии.

Целью работы является разработка конфигурации виртуальной сети передачи данных с использованием программного обеспечения с открытым исходным кодом для виртуальных учебных стендов.

В докладе представлена конфигурация виртуальной сети передачи данных с использованием программного обеспечения с открытым исходным кодом для виртуального учебного лабораторного стенда для практикума ООО «КОД БЕЗОПАСНОСТИ» «Основы применения АПКШ «Континент» для организации сетевой защиты». Предложенная конфигурация протестирована на примере виртуальной сети для связи виртуальных машин стенда QEMU 4.1 Debian 10.1, расположенных на разных виртуальных машинах в PROXMOX 5.4 Debian 8. Для создания виртуальной сети использованы программный многоуровневый коммутатор Open vSwitch [2], а также для объединения отдельных подсетей в единую виртуальную сеть передачи данных между виртуальными машинами системы виртуализации университета были созданы VPN-туннели с использованием программного средства WireGuard [3].

Более подробно предложенная конфигурация и примеры создания виртуальной сети передачи данных с использованием свободного программного обеспечения рассмотрены в докладе.

Литература

1. KVM/Networking: [Электронный ресурс] // Ubuntu. 2019. URL: https://help.ubuntu.com/community/KVM/Networking. (Дата обращения 03.12.2019).
2. Open vSwitch Documentation: [Электронный ресурс] // Open vSwitch. 2016. URL: https://docs.openvswitch.org/en/latest/. (Дата обращения: 23.11.2019).
3. WireGuard: fast, modern, secure VPN tunnel: [Электронный ресурс]. 2015-2019. URL: https://www.wireguard.com. (Дата обращения: 02.12.2019).

Д.В. Шибитов, А. С. Пайков, И. С. Французов, студенты;
рук. М. А. Руденкова, асс. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ УЧЕБНЫХ СТЕНДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛИЗАЦИИ С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ

В настоящее время наибольшей популярностью пользуются технологии, создающие для обучающихся максимально гибкую и удобную образовательную среду с обеспечением возможности удаленного доступа. Например, во Вроцлавском экономическом университете с использованием технологий виртуализации создана образовательная среда, предоставляющая студентам удаленный доступ более чем к 500 виртуальным системам в 12 лабораториях [1].

Целью данной работы является разработка аппаратно-программного комплекса для учебных стендов с использованием технологий виртуализации с открытым исходным кодом. Использование виртуальных стендов с открытым исходным кодом позволяет обеспечить: возможность удаленной работы, доступность освоения дорогостоящих аппаратно-программных решений для обучения.

В данной работе рассматривается методика создания и настройки виртуального учебного стенда для проведения лабораторных занятий по курсу «Основы применения АПКШ «Континент» для организации сетевой защиты».

Для создания учебного необходимо настроить несколько виртуальных машин ООО «КОД БЕЗОПАСНОСТИ» с различным набором программного обеспечения, а также произвести конфигурацию сети передачи данных. Для этого требуется разработать архитектуру аппаратно-программного комплекса с использованием технологии виртуализации с открытым исходным кодом для создания аналогичных виртуальных лабораторных стендов в университете.

В данном докладе предложена архитектура аппаратно-программного комплекса на примере учебного стенда для лабораторного практикума ООО «КОД БЕЗОПАСНОСТИ» «Основы применения АПКШ «Континент» для организации сетевой защиты».

Литература

1. **Rot, A.** Benefits, Limitations and Costs of IT Infrastructure Virtualization in the Academic Environment. Case Study using VDI Technology / Rot, A., Chrobak, P. // 13th International Conference on Software Technologies. — 2018. — P. 704–711.

А. Летаев, студ.; рук. А. Ф. Крюков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК АНАЛИЗА ТЕКСТОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ ДЛЯ КАТЕГОРИЗАЦИИ ТЕКСТОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПИСЕМ В УНИВЕРСИТЕТЕ

В настоящее время в связи с популяризацией сети Интернет преобладающая часть текстовой информации передается в формате электронных писем. При большом количестве текстовых электронных писем возникает необходимость в сортировке и категоризации для быстрого поиска и обработки информации. Примером такой сортировки может служить выявление текстовых электронных писем с важными документами, а также писем с рекламной или потенциально опасной информацией. [1]

В настоящее время разработано множество методик, которые позволяют анализировать содержимое текстов на основе принципов NLP («Natural Learning Processing»). С помощью данных методик возможна обработка текстовых сообщений на естественном языке для выделения основной темы или категории сообщения. [2]

В данном докладе рассмотрены различные методики, которые позволяют на основе обработки и анализа естественного языка определять категорию обрабатываемого текстового сообщения. Необходимо определить эффективную методику для анализа текстовых сообщений электронных писем на электронной почте университета. В докладе представлены критерии сравнения современных методов анализа естественного языка для решения поставленной задачи.

Литература

1. **Fahrur Rozi, Rikie Kartadie.** “DETEKSI E-MAIL DAN SPAM MENGGUNAKAN FUZZY ASSOCIATION RULE MINING”, vol. 2, no. 2, 2017.
2. **Michał Zimniewicz, Krzysztof Kurowski, Jan Weglarz.** “Scheduling aspects in keyword extraction problem”, 2017.

М.М. Филиппова, студ.; рук. А.Ф. Крюков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ ТЕСТОВЫХ СТЕНДОВ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ СЕТИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ АТАК ВИДА ОТКАЗ В ОБСЛУЖИВАНИИ

В настоящее время программно-определяемые сети становятся популярным решением в связи с их гибкостью и возможностью использовать широкий набор приложений для быстрой адаптации ресурсов сетевой инфраструктуры под новые нужды. Однако, из-за использования контроллеров в сетях такого типа возникает множество проблем, связанных с безопасностью. [1] Атака вида «отказ в обслуживании» является одной из наиболее опасных в отношении программно-определяемых сетей, поскольку может привести не только к снижению производительности сетевой инфраструктуры, но и к отказу в обслуживании.

В настоящее время разрабатывается множество методов, которые могли бы предотвратить атаку вида «отказ в обслуживании». Тестирование данных методов, особенно на этапе отладки конкретных алгоритмов, не представляется возможным на действующем оборудовании, поэтому используют специальное программное обеспечение. [2] Программное обеспечение позволяет эмулировать различные элементы программно-определяемой сети, а также генерировать вредоносный трафик, причем для каждой из подзадач используется свой набор программ.

В данной статье рассматривается различное программное обеспечение, которое позволяет эмулировать процессы, происходящие в программно-определяемых сетях при атаке вида «отказ в обслуживании». Рассматривается только программное обеспечение, находящее в открытом доступе. Поскольку для тестирования метода защиты от атаки, необходимо установить некоторый набор программ, отвечающих за различные задачи, рассматривается вопрос совместимости данных программ, а также их эффективности в рамках поставленной задачи. Все рассмотренные средства классифицируются по различным критериям. В завершении данной статьи представлены рекомендации для построения стенда для тестирования методов защиты от атаки вида «отказ в обслуживании».

Литература

1. **Yifan Liu, Bo Zhao, Pengyuan Zhao, Peiru Fan, Hui Lui.** «A survey: Typical security issues of software-defined networking», China Communications, vol. 16, issue 7, 2019
2. **Kriti Bhushan ; B. B. Gupta.** «Detecting DDoS Attack using Software Defined Network (SDN) in Cloud Computing Environment», 2018 5th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), 2018

В.А. Суховерхий, асп.; рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ СЕТЕВОЙ ОКОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ UNIX СОВМЕСТИМЫХ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В дистрибутивах операционных систем, построенных на базе ядра совместимого с набором команд и аппаратно-программным интерфейсом операционной системы Unix, в особенности в дистрибутивах, используемых на серверном оборудовании и оборудовании, предназначенном для управления неким количеством встраиваемых устройств, входящих в состав единого управляемого массива, возникает необходимость в средствах удаленного доступа и управления из-за проблемы невозможности оператора иметь прямой доступ к управляющему или серверному устройству в связи с условиями работы оборудования находящегося в тяжелых условиях окружающей среды и с необходимостью постоянного круглосуточного контроля оборудования.

Для решения проблемы удаленного доступа к оборудованию работающим под управлением Unix-совместимого дистрибутива операционной системы, используется функционал оконной системы X Window System, но из-за отсутствия поддержки X Window System современного аппаратного обеспечения, стандартные средства удаленного доступа оконной системы не используются. Для удаленного доступа к оборудованию работающим под управлением Unix-ссовместимой операционной системы используется:

- Удаленный доступ к графическим приложениям, работающим в среде выполнения оконной системы, через интерфейс протокола ssh;
- Удаленный доступ к графическому окружения оконной системы X Window System, через предоставляемый программный интерфейс VNC

В качестве состава программного обеспечения дистрибутива, базирующегося на ядре Linux, разработанная оконная система была внедрена в набор программного обеспечения администрирования системы тестирования.

Система тестирования работает в составе одноплатного компьютера, имеющего доступ по средствам локальной сети или сети «интернет». Применение разработанной сетевой оконной системы позволяет упростить доступ к администрируемым ресурсам пользователю, за счет меньших требований к техническому образованию пользователя.

По результатам испытаний, проводимым по применению разработанной оконной системы, можно сделать вывод, что разработанная оконная система решает проблему, которая возникает при передачи нагруженного графического интерфейса по сети и дальнейшего взаимодействия с интерфейсом со стороны пользователя.

А.Л. Котиков, студ.; рук. С.В. Борисова, к.т.н., проф. А.Ф. Крюков (НИУ «МЭИ»)

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ, РЕАЛИЗУЮЩЕЕ ЗАДАЧИ БЛОЧНОГО ОБУЧЕНИЯ НОВЫХ СОТРУДНИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Современные предприятия всё чаще ставят перед собой основной целью обеспечение безопасности при работе с оборудованием. С изучением основ безопасности непосредственно столкнётся каждый студент, который придёт на предприятие в качестве нового сотрудника. Существует множество документации по эксплуатации оборудования для предприятий различного профиля. Эта информация может быть представлена как в виде научно — технической литературы, так и в виде сайтов. Сложность поиска информации по безопасности сводится к тому, что каждый раз сотрудникам приходится либо искать её на просторах интернета, либо в огромном количестве разноплановых книг. Это достаточно неудобно.

Вывод напрашивается сам собой — использовать свой мобильный телефон или планшет с специальным мобильным приложением, которое поможет повысить эффективность и качество обучения новых сотрудников основам безопасности при работе с оборудованием. Данное мобильное приложение включает в себя не только блоки обучения, но и содержит информационное наполнение, которое реализовано в виде базы данных, охватывающей профиль предприятия. Кроме того, мобильное приложение включает в себя блок авторизации и аутентификации, и имеет два раздельных интерфейса: начальник, сотрудник. Комбинация этих программных решений позволяет не только эффективно обучать сотрудников, но и успешно производить контроль обучения сотрудников со стороны вышестоящего начальства.

В работе показана разработка программного инструмента, реализующего поставленную задачу. Предложен удобный интерфейс с применением технологий разметки XML и языка программирования JAVA. Информационное наполнение приложения выполнено путем создания БД с помощью инструмента SQLite Database Browser, а также реализован принцип локальной динамической БД на самом мобильном устройстве.

Разработанное приложение было установлено на смартфон с ОС Android. Более подробно полученные результаты представлены в докладе.

Литература:

1. **Денис Шаша, Филипп Бонне.** Оптимизация баз данных. 2004г.
2. **П. Дейтел, Х. Дейтел, А. Уолд. Android** для разработчиков. 3-е издание. 2016.
3. URL: https://www.sqlite.org

В. Н. Решетников, Д.В. Шибитов, Э.А. Челышев, студенты;
рук. М. А. Руденкова, асс. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА КОНФИГУРАЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

В настоящее время одним из популярных решений для создания виртуальных машин является KVM [1]. При выборе решения с использованием KVM-виртуализации возникает ряд проблем, а именно выбор параметров настройки виртуальных машин, выбор и настройка программного обеспечения виртуальных аппаратных компонентов для гостевой операционной системы.

Целью работы является разработка методики выбора конфигураций виртуальных машин и программного обеспечения гостевых операционных систем для виртуального лабораторного стенда с использованием средств виртуализации с открытым исходным кодом.

В данном докладе представлена методика конфигурации виртуальных машин на примере разработки виртуального учебного стенда ООО «КОД БЕЗОПАСНОСТИ» для лабораторного практикума «Основы применения АПКШ «Континент» для организации сетевой защиты». Данный виртуальный учебный стенд состоит из семи виртуальных машин с различными операционными системами: MS Windows Server 2008 R2 (64-bit), FreeBSD (32-bit), Microsoft Windows 7 (64-bit) (рис. 1). Представлен пример настройки данных виртуальных машин с использованием эмулятора QEMU [2] для разработанной архитектуры виртуального учебного стенда.

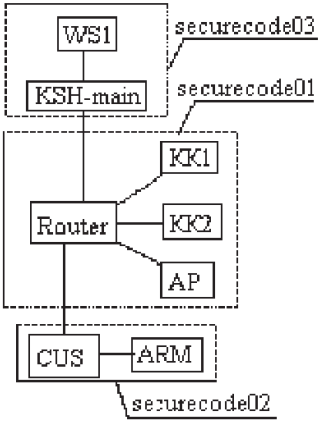


Рис. 1. Архитектура виртуального учебного стенда

Литература

1. **Yu, L.B.** A Research on KVM I/O Performance / L.B. Yu // Applied Mechanics and Materials. — 2013. — Vol. 385–386. — P. 1790–1796.
2. Documentation/Networking: [Электронный ресурс] // QEMU. 2017. URL: https://wiki.qemu.org/Documentation/Networking. (Дата обращения: 19.11.2019).

Э. А. Челышев, Д. В. Шибитов, студенты; рук. М. А. Руденкова, асс. (НИУ «МЭИ»)

КОНФИГУРАЦИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОГО УЧЕБНОГО СТЕНДА

KVM (Kernel-based Virtual Machine) — технология и программное обеспечение с открытым исходным кодом, обеспечивающие виртуализацию в среде Linux. Существуют различные решения для создания виртуальной сети передачи данных в KVM [1]. Данный доклад посвящен разработке виртуальной сети передачи данных с использованием данной технологии.

Целью работы является разработка конфигурации виртуальной сети передачи данных с использованием программного обеспечения с открытым исходным кодом для виртуальных учебных стендов.

В докладе представлена конфигурация виртуальной сети передачи данных с использованием программного обеспечения с открытым исходным кодом для виртуального учебного лабораторного стенда для практикума ООО «КОД БЕЗОПАСНОСТИ» «Основы применения АПКШ «Континент» для организации сетевой защиты». Предложенная конфигурация протестирована на примере виртуальной сети для связи виртуальных машин стенда QEMU 4.1 Debian 10.1, расположенных на разных виртуальных машинах в PROXMOX 5.4 Debian 8. Для создания виртуальной сети использованы программный многоуровневый коммутатор Open vSwitch [2], а также для объединения отдельных подсетей в единую виртуальную сеть передачи данных между виртуальными машинами системы виртуализации университета были созданы VPN-туннели с использованием программного средства WireGuard [3].

Более подробно предложенная конфигурация и примеры создания виртуальной сети передачи данных с использованием свободного программного обеспечения рассмотрены в докладе.

Литература

1. KVM/Networking: [Электронный ресурс] // Ubuntu. 2019. URL: https://help.ubuntu.com/community/KVM/Networking. (Дата обращения 03.12.2019).
2. Open vSwitch Documentation: [Электронный ресурс] // Open vSwitch. 2016. URL: https://docs.openvswitch.org/en/latest/. (Дата обращения: 23.11.2019).
3. WireGuard: fast, modern, secure VPN tunnel: [Электронный ресурс]. 2015-2019. URL: https://www.wireguard.com. (Дата обращения: 02.12.2019).

П. М. Перов, студ.; рук. Д. А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ВЫИГРЫША В АРБИТРАЖНОМ ПРОЦЕССЕ ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В настоящее время в России активно развиваться LegalTech [1] — отрасль информационных технологий, занимающаяся обслуживанием профессиональной юридической деятельности. И одно из востребованных, но пока малоразвитых направлений в этой отрасли — это предсказание результатов арбитражного процесса.

Согласно данным статистики Судебного департамента при Верховном суде РФ, сводные показатели деятельности арбитражных судов показывают, что количество поданных исков в России ежегодно растет [2]. В связи с увеличением количества арбитражных споров набирают популярность инвестиции в арбитражные споры. Поэтому разработка решения для оценки положительного исхода по арбитражному спору является актуальной задачей. Такое решение позволит инвестору сократить время для выбора перспективного спора и сэкономить денежные средства, так как автоматическая оценка позволит не получать юридическую консультацию по заранее не перспективным делам, а сразу перейти к более глубокому анализу перспективных дел. На данный момент в России существует всего одно готовое решение по помощи в инвестировании в перспективные арбитражные споры — «platforma-online.ru».

Арбитражный процесс в России открытый, поэтому существуют открытые ресурсы, которые предоставляют обширное количество данных для анализа, обработки и обучения алгоритма. Задача заключается в создании алгоритма, основанном на методах машинного обучения для определения вероятности выигрыша в арбитражном суде. В качестве входных данных используются поданные иски.

Для реализации данной задачи был выбран язык программирования Python, поскольку для него разработано обширное количество библиотек, позволяющих обрабатывать большое количество данных, в том числе на естественном языке. Так же в Python широкий спектр библиотек для машинного обучения, позволяющий не писать алгоритмы машинного обучения с нуля, а сосредоточиться на их применении.

Литература

1. [Электронный ресурс] URL https://rb.ru/story/law-dictionary/ (дата обращения 01.12.2019).
2. [Электронный ресурс] URL http://www.cdep.ru/index.php?id=79 (дата обращения 01.12.2019).

В.К. Балашов, студ.; рук. И.И. Ладыгин, доцент, проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА НАЗНАЧЕНИЯ В КЛАСТЕРНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

В настоящее время понятие КВС широко используется при рассмотрении различных вопросов, связанных с параллельными вычислениями. Для решения проблемы обеспечения эффективного решения задач на КВС разрабатываются различные алгоритмы назначения, которые определяют способ распределения подзадач в КВС.

Выполненная автором работа посвящена разработке алгоритма назначения в КВС с использованием различных стратегий и его программной реализации.

В процессе работы были изучены теоретические основы алгоритма назначения, основные стратегии назначения в КВС. Был разработан и реализован программно алгоритм назначения для КВС. Также разработанная программа позволяет пользователю самостоятельно загружать модели решаемых задач в виде таблиц смежности их графов, задавать такой параметр КВС, как количество выделенных процессоров, и самому выбирать стратегию назначения. Ещё разработанная программа может построить граф задачи или временную диаграмму выполнения задачи или набора задач, а также показать основные оценки выполненного моделирования.

Было проведено тестирование, которое показало, что программа работает корректно и готова к использованию. Так же был проведен эксперимент, раскрывающий функционал программы и имитирующий её использование для решения задачи назначения при ограниченных и неограниченных ресурсах.

Литература

1. **Воеводин В.В., Воеводин Вл.В.** Параллельные вычисления. — Спб.: БХВ- Петербург, 2002. — 608 с.
2. **И.И. Ладыгин, А.В. Логинов, А.В. Филатов, С.Г. Яньков**. Кластеры на многоядерных процессорах. — М: Издательский дом МЭИ, 2008. — 112 с.
3. **Шарп Дж**. Microsoft Visual C#. Подробное руководство. 8-е изд. — СПб.: Питер, 2017. — 848 с.
4. **ГОСТ 19.701–90**. (ИСО 5807–85). ЕСПД. Схемы алгоритмов, программ данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения.
5. **Ладыгин И.И., Калинина Г.А.** Лабораторные работы по курсу «Вычислительные системы». — М.: Изд-во МЭИ, 1999. — 32 с.

А.А. Мишин, студент; рук. И.И. Ладыгин, к.т.н., проф. (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССОРНОЙ АРХИТЕКТУРЫ С ОЧЕНЬ ДЛИННОЙ МАШИННОЙ КОМАНДОЙ

За последние 4 года стало понятно, что эмпирический закон Мура перестал работать. Связанно это с тем, что инженеры-литографы вплотную подошли к техническому пределу совершенствования техпроцесса полупроводникового производства [1]. Каждое новое увеличение разрешающей способности литографического оборудования связанно со значительным увеличением стоимости его производства и оперирования.

Все это говорит о том, что в будущем потребуется переход к другим, более совершенным архитектурам. Основными претендентами на сегодняшний день в сегменте HPC являются RISC–V и POWER9. Все они являются представителями семейства RISC архитектур. Однако еще недавно большие надежды возлагались на переход к VLIW процессорам, как к предположительно более перспективной технологии.

Архитектура с «широким командным словом» (VLIW) относится к архитектурам, разработанным для использования параллелизма на уровне команд. Параллелизм на уровне команд достигается за счет того, что одна команда представляет собой структуру нескольких команд, каждая из которых исполняется соответствующим функциональным блоком процессора. Внутри такой инструкции во всех операндах отсутствует зависимость по данным [2].

В ходе данной работы была разработана и реализована модель работы оптимизирующего компилятора. Данная модель производит лексический анализ используемого в модели псевдокода, вводимого пользователем, и преобразует его в машинный код некоего гипотетического VLIW-процессора, формируя из последовательности сгенерированных инструкций длинное командное слово. На формирование командного слова влияют такие параметры модели, как количество и тип функциональных блоков моделируемого процессора.

Результирующая модель может применяться в образовательном процессе для формирования компетенции работы с нестандартными процессорными архитектурами у обучающихся.

Литература

1. **Gordon E. Moore** “Lithography and the future of Moore’s law”, Proc. SPIE 2440, Optical/Laser Microlithography VIII, (26 May 1995); https://doi.org/10.1117/12.209244.
2. **Joseph A. Fisher, Paolo Faraboschi, Cliff Young** “Embedded Computing: A VLIW Approach to Architecture, Compilers and Tools”, Elsevier, 2005.

Е.А. Севастьянова, студ.; рук. В.В. Плотников, к.т.н., доц.,
Л.В. Плотникова, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

ЭКСЕРГИЯ НА ПРИМЕРЕ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

На сегодняшний день актуальны исследования эксергии как меры термодинамической системы, позволяющей оценить проблемы энергосбережения в промышленном производстве и пути их решения. [1] Но эксергию также можно рассматривать как единицу меры информации и информационных систем в целом.

Цель данной работы: рассмотреть на примере тестирования программного обеспечения (ПО) эксергию как единицу меры информации.

Тестирование систем — важный этап производства ПО, направленный на детальное исследование программного кода и выявление ошибок в работе систем. Рекомендуемое правило распределения затрат проекта: 40–20–40 (40% — анализ и проектирование системы, 20% — кодирование, 40% — тестирование). Одна из главных целей тестирования — проверка соответствия работоспособности системы в целом или ее отдельных модулей ожидания заказчикам.

Ввод нового понятия «эксергия информации» обосновывает необходимость внедрения конкретных мер по рациональному использованию информационных ресурсов. Эксергия информации — это максимальная часть информации, которая, действительно, означает способность производить работу информационных систем. В обычной повседневной практике слова «энергосбережение, экономия энергии» на самом деле означают экономию эксергии.

Эксергетический метод анализа на примере тестирования ПО позволяет оценить степень использования энергии, ее потери, а также получить распределение этих потерь по отдельным этапам тестирования информационных систем, то есть выявить наименее эффективные из них.

Для того, чтобы процесс тестирования был более производительным и эффективным, применяется метод, который предполагает, что на каждом этапе тестирования будет выявлена ошибка или же система будет соответствовать требованиям, и та информация, которая передается и обрабатывается, будет достоверна, надежна и легко проверяема. В связи с этим можно говорить о том, что при таких условиях полученная от системы работа будет максимальна.

Литература

1. **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. С. 21–27.

Секция 16.
УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАТИКА В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Председатель секции — Анисимов Дмитрий Николаевич
Секретарь секции — Федорова Екатерина Владимировна

Зинеддин Бучаала, асп.; рук. Г.Ф. Филаретов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ РАЗЛАДКИ

Задача мониторинога, т.е. специально организованного, систематического наблюдения за состоянием объектов, явлений или процессов с целью контроля, оценки их состояния и выявления отклонения от заданных значений контролируемых показателей, является в настоящее время одной из самых актуальных, встречающихся в различных предметных областях (в промышленности, экологии, медицине и др.). Ее решение во многих случаях основывается на использовании математических методов обнаружения разладки — спонтанного изменения характеристик контролируемого процесса [1].

Известно очень большое число алгоритмов обнаружения разладки, решающих фактически одну и ту же прикладную задачу [2], в связи с чем появляется необходимость их корректного сопоставления. Предлагается для этих целей использовать основные параметры, характеризующие свойства контролирующего алгоритма: средний интервал между ложными тревогами $\overline{T}_{ЛТ}$ для некоторого фиксированного значения решающего порога H и среднее время запаздывания $\overline{\tau}_{ЗАП}$ в обнаружении разладки определенной величины d, характеризующей степень отклонения контролируемого параметра от заданного уровня «норма» при отсутствии разладки. Индивидуальный показатель эффективности конкретного контролирующего алгоритма тогда можно ввести с помощью отношения $E = \overline{T}_{ЛТ} / \overline{\tau}_{ЗАП}$ для фиксированного значения d.

Для сопоставления эффективности двух различных контролирующих алгоритмов A и B, предназначенных для решения одной и той же задачи обнаружения разладки, целесообразно использовать показатель относительной эффективности $Є = E(A) / E(B) = \overline{\tau}_{ЗАП}(B) / \overline{\tau}_{ЗАП}(A)$.

Приводятся примеры использования показателя $Є$ для сопоставления параметрических и непараметрических методов обнаружения разладки, когда такое сопоставление является принципиально важным.

Литература

1. **Обнаружение** изменения свойств сигналов и динамических систем: пер. с англ./ М. Бассвиль, А. Вилски и др. М.: Мир, 1989.
2. **Shafid Ahmad.** Bibliometric Analysis of EWMA and CUSUM Control Chart Schemes. ITEE Journal, Volume 7, Issue 2, April 2018, pp. 1–11.

П.С. Симоненков, асп.; рук. Г.Ф. Филаретов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗЛАДКА МНОГОМЕРНОГО ВРЕМЕННОГО РЯДА ПО КОВАРИАЦИОННОЙ МАТРИЦЕ

Решается задача обнаружения спонтанного изменения характеристик ν–мерного временно́го ряда $\vec{x}(t)$, т.е. его разладки, в следующей постановке: отсчеты $\vec{x}(t)$, $\vec{x}(j)$; t≠j независимы, вектор $\vec{x}(t)$ подчинятся ν–мерному нормальному распределению с нулевым вектором математических ожиданий и ковариационной матрицей $\vec{\Sigma}_X$. Предполагается, что при разладке, происходящей в неизвестный момент времени t_0, скачкообразно изменяются элементы ковариационной матрицы $\vec{\Sigma}_X$ от значения $\vec{\Sigma}_X = \vec{\Sigma}_0$ в отсутствии разладки до $\vec{\Sigma}_X = \vec{\Sigma}_1$, соответствующего номинальной (ожидаемой) разладке. .

Для решения задачи предлагается использовать классический алгоритм кумулятивных сумм [1], но с предварительным линейным преобразованием значений наблюдаемого временно́го ряда, обеспечивающим одновременное преобразование ковариационной матрицы до разладки к единичному виду, а ковариационной матрицы при при наличии разладки — к диагональному [2].

Приводятся базовые положения, описывающие соответствующий алгоритм обнаружения, а также соотношения, реализующие указанное линейное преобразование. Показывается, что его применение позволяет существенно упростить решение вопросов синтеза контролирующего алгоритма с заданными свойствами. Это связано с тем, что получающийся в результате такого преобразования временно́й ряд $\vec{y}(t) = F\{\vec{x}(t)\}$ имеет некоррелированные компоненты, а разладка сводится к отклонению дисперсий этих компонент от исходного единочного значения.

Для двумерного варианта рассмотрена процедура синтеза контролирующего алгоритма с заданными значениями интервала между ложными тревогами, для чего с помощью имитационного эксперимента получены соотношения для определения величины решающего порога, а также оценки среднего времени запаздывания в обнаружении разладки.

Литература

1. **Page E. S.** Continuous inspection schemes. // Biometrika, 1954, v. 41, №1, p. 100–115.
2. **Левин Б.Р.** Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Советское радио, 1975.

Д.Ю. Киреев, студ.; рук. С.А. Хризолитова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ ПРИБЛИЖЕННОГО И ТОЧНОГО МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ИТЕРАЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Работа посвящена исследованию построения многоканальных итерационных электромеханических систем, которые обладают устойчивостью, высокой точностью, быстродействием и другими параметрами качества, которых невозможно достичь в одноканальных системах управления.

В данной работе проведен сравнительный анализ точного и приближенного методов построения частотных характеристик для *n*-канальных итерационных электромеханических систем управления, передаточная функция которых равна [1]:

$$W_p(p) = W_1(p) + W_2(p) + ... + W_n(p) + W_1(p)W_2(p) * \ldots * W_n(p)$$

Приближенный метод построения частотных характеристик системы с параллельными ветвями заключается в построении частотных характеристик для каждой ветви, а характеристика системы в целом будет определяться логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ) той ветви, которая обладает наибольшим коэффициентом усиления.

Проведены тщательные цифровые модельные исследования приближенного и точного методов построения частотных характеристик при изменении параметров структуры в широких пределах. Показано, что если показатели качества управления, полученные приближенным методом, удовлетворяют заданным требованиям, то реальная система тем более будет удовлетворять заданным параметрам, так как ряд показателей качества улучшится (например, быстродействие повысится, а динамическая ошибка уменьшится) [2].

На основе проведенных исследований были сравнены методы построения частотных характеристик. Различия ЛАЧХ, построенных двумя методами, проявляется только на средних и высоких частотах. Область высоких частот не играет существенной роли, а в области средних частот легко добиться требуемых показателей качества.

Литература

1. **Бесекерский В.А., Попов Е.П.** Теория систем автоматического регулирования.— М. Наука, 1975.
2. **Автоматические** системы и устройства наведения лазерных пучков / Под ред. В.Б. Чемоданова. — М.: Физматлит, 2016.

М.А. Бабочкин, асп.; В.А. Короленкова, асп.; А.А. Кузнецова, асп.;
рук. О.С. Колосов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗВЕНЬЕВ ЗАПАЗДЫВАНИЯ ПРИ КОРРЕКЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Повсеместное внедрение быстродействующей микропроцессорной управляющей техники в практику автоматического управления значительно расширяет возможности применения цифровых фильтров для коррекции автоматических систем [1]. Любые разновидности цифровых фильтров [2] в применении к системам автоматики целесообразно применять, превращая их в, так называемые, «гребенчатые фильтры» [1,3]. В гребенчатых фильтрах осуществляется пропуск определенного числа шагов, реализуемых с использованием запаздывания. Фактически при их реализации увеличивается уровень квантование по времени сигнала управления. В докладе обсуждаются вопросы оценки целесообразного значения уровня квантования по времени в зависимости от цели введения цифрового корректирующего устройства. В докладе обсуждаются две возможные цели введения цифровых фильтров в автоматические системы: 1) фильтрация высокочастотных помех в сигнале управления; 2) фильтрация конкретных гармоник в сигнале управления. Показывается, что фильтрация высокочастотных помех цифровыми фильтрами оказывается более эффективной по сравнению с непрерывными аналогами подобных устройств Речь идет как о фильтрах высоких частот (ФВЧ), так и о фильтрах низких частот (ФНЧ). Эффективность демонстрируется при использовании ФВЧ и ФНЧ в составе ПИД-регулятора. Фильтрация конкретных гармоник демонстрируется при решении задачи восстановления модулированного по амплитуде сигнала, пропущенного через однополупериодный демодулятор. Показывается, что последовательно пропуская сигнал через ряд фильтров «вырезающих» четные гармоники, удается с требуемой точностью восстановить аналоговый сигнал. Производится оценка появляющегося дополнительного фазового сдвига, вносимого линейкой фильтров.

Литература

1. **Колосов О.С.**, Кошоева Б.Б., Морозов Р.Б. Дополнительный настраиваемый параметр для ПИД-регулятора. (Дифференцирование с увеличенным шагом дискретизации). Изд-во «Palmarium Academic Publishing». 2016 г. 135 с.
2. **Кобениченко В.Г.** Расчет и проектирование цифровых фильтров: [учеб.-метод. пособие]/ В.Г. Кобениченко. — Екатеринбург: Изд-во Урал ун-та. 2015. — 64 с.
3. **Бабочкин М.А.**, Колосов О.С., Кузнецова А.А., Парфенова О.И. Алгоритмы фильтрации нижних и верхних частот реального времени в задачах правления // Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации: сб. тр. XXVIII Междунар. науч.-техн. конф., 14–20 сентября 2019 г., Алушта. — М.:НИЯУ МИФИ. 2019.– С. 71.

Ю.С. Александрова, студ.; А.В. Овивян, студ.;
О.И. Парфенова, студ.; рук. О.С. Колосов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ОБРАБОТКИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ТЕСТОВЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В докладе рассматриваются ряд практических приемов обработки сигналов отклика динамического объекта в ответ на действие тестирующих сигналов прямоугольной формы различной частоты следования. В качестве динамического объекта выступает сетчатка глаза человека, на которую поступают световые вспышки. Откликом является оцифрованная запись изменения биопотенциала сетчатки или электроретинограмма (ЭРГ). Для диагностики патологий сетчатки используется ряд признаков, извлекаемых непосредственно из ЭРГ, а также результаты разложения ЭРГ на периоде следования импульсов в ряд Фурье в виде амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) сетчатки и дальнейшей их аппроксимации подобно тому, как это производится в [1.2]. Однако число выявляемых признаков оказывается недостаточным для диагностики и, кроме этого, они демонстрируют большие области взаимных пересечений для разных патологий [2]. В докладе рассматриваются оригинальные приемы обработки фазо-частотных характеристик (ФЧХ) объекта, позволяющие расширить признаковое пространство диагностируемого объекта. К таким приемам относятся: 1) приведение всех рассматриваемых ЭРГ к единой псевдочастоте за счет выравнивания до определенного значения всех периодов следования импульсов нулевыми значениями, 2) использование алгоритма построения непрерывной ФЧХ; 3) аппроксимация получаемых ФЧХ алгебраическими полиномами.

Доклад подготовлен при финансовой поддержке РФФИ (проект 19-01-00143а).

Литература

1. **Колосов О.С., Короленкова В.А., Пронин А.Д., Зуева М.В., Цапенко И.В.** Построение амплитудно-частотных характеристик сетчатки глаза и формализация их параметров для использования в системах диагностики. // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2018 — Т19, №7. — С 451–457.
2. **Александрова Ю.С., Баларев Д.А., Колосов О.С., Короленкова В.А., Титова О.Д.** Формализация признаков в частотной области для диагностики состояния неминимально-фазовых объектов // Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации: сб. тр. XXVIII Междунар. науч.-техн. конф., 14–20 сентября 2019 г., Алушта. — М.:НИЯУ МИФИ, 2019.– С. 57.

Т.С. Котова, студ.; рук. Д.Н. Анисимов, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ПЕРВОГО РОДА

Алгоритмы, основанные на нечеткой логике, нашли широкое применение в современных системах управления техническими объектами. Многочисленные варианты построения нечетких систем различаются не только особенностями реализации этапов нечеткого логического вывода, но и схемными решениями. Так, в [1] было предложено различать нечеткие логические регуляторы 1-го и 2-го рода. В ПИ-, ПД- и ПИД-регуляторах 1-го рода используются параллельно включенные одномерные нечеткие вычислители, сигналы с выходов которых складываются. В регуляторах 2-го рода используется один многомерный нечеткий вычислитель.

Активные исследования НЛР 1-го рода проводятся на кафедре проблем управления РТУ МИРЭА. В научных исследованиях кафедры управления и информатики НИУ «МЭИ» основное внимание уделяется нечетким регуляторам 2-го рода [2]. Предварительный сравнительный анализ этих двух типов НЛР, проведенный на основе ряда публикаций (например, [3] и [4]), выявил ряд сходных и отличительных черт в их работе. Однако отсутствие единой методологии проведения экспериментов не позволяет провести более глубокий анализ. Для устранения этого недостатка необходимо провести комплексные исследования НЛР 1-го рода, аналогичные тем, которые были проведены для регулятора 2-го рода.

В работе представлены результаты разработки и программной реализации нечеткого ПД-регулятора 1-го рода. Проведен анализ статических характеристик НЛР и показателей качества нечеткой системы управления при изменении функций принадлежности термов входных и выходных лингвистических переменных. Осуществлено сравнение полученных результатов для НЛР 1-го и 2-го рода.

Литература

1. Интеллектуальные системы автоматического управления / Под ред. И.М. Макарова, В.М. Лохина. — М.: Физматлит, 2001.
2. **Анисимов Д.Н.** Использование нечеткой логики в системах автоматического управления // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. — 2001.— №8. — С. 39–42.
3. **Казачек Н.А., Лохин В.М.** Уточнение метода гармонического баланса для исследования систем с нечеткими регуляторами // Сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики». Воронежский гос. ун-т, 2017. — С. 1639–1645.
4. **Анисимов Д.Н., Май Тхе Ань.** Анализ автоколебаний в нечетких системах управления // Сб. мат-лов XVII междунар. науч.-метод. конф. «Информатика: проблемы, методология, технологии». Воронежский гос. ун-т, 2017. — Т. 3. — С. 283–288.

Д.Е. Кондрашин, аспирант; рук. В.А. Шихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ УПРАВЛЯЕМОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ МИКРОЭНЕРГОСИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭНЕРГОНАКОПИТЕЛЕЙ

Одной из важнейших проблем при внедрении микроэнегосистем (МКЭС) является управляемость и обеспечение устойчивой работы в различных режимах [1–3]. Исследование заключается в разработке метода обеспечения повышения управляемости и устойчивости, для обеспечения максимальной эффективности МКЭС при автономном и полуавтономном функционировании.

Для МКЭС характерен ряд особенностей, а именно: 1) МКЭС представляют собой интеграцию элементов (энергообъектов) с резко различающимися динамическими и стационарными характеристиками, существенно отличающимися от характеристик мощных ЭУ. 2) Практически всем ЭО свойственны эффекты нелинейности, дискретно-событийности процессов [3], плавного и скачкообразного изменения параметров, МКЭС подвержены дисбалансу из-за однофазных нагрузок и/или нестабильности распределенной генерации (ВИЭ). 3) МКЭС могут функционировать в существенно различающихся режимах, например, в автономном режиме, с использованием накопителей энергии или же генераторов и режиме присоединения к основной энергосистеме. При этом переход из одного режима работы в другой может происходить как управляемо, так и хаотично [2]. Это происходит из-за сочетания децентрализованного и централизованного управления и разнонаправленности и нестабильность потока энергии, что усложняет задачу.

Для целей повышения устойчивости функционирования МКЭС исследуется возможность перехода к интеллектуальному автоматизированному управлению энергонакопителями, как активными элементами МКЭС существенно влияющими на протекающие процессы в единой системе.

Литература

1. **Zeng P., Li H.** Dynamic Energy Management of a Microgrid Using Approximate Dynamic Programming and Deep Recurrent Neural Network, **DOI:**10.1109/TSG.2018.2859821, IEEE 26.06.2018.
2. **Persis C., Monshizadeh N.** Bregman Storage Functions For Microgrid Control, **DOI:1**0.1109/TAC.2017.2709246, IEEE 26.05.2017.
3. **Shikhin V. A., Abd-Elraheem A.K., Ren J.** Real-Time Control of Microgrid via Multi-Agent Approach. Proceedings-2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM-2018, Moscow, DOI:10.1109/ICIEAM.2018.8728606

Д.О. Севидова, студ.; Е.В. Федорова, асп.;
рук. Д.Н. Анисимов, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ТЕРМОВ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

Основной областью применения нечетких логических регуляторов (НЛР) является автоматизация технологических процессов, характеризующихся структурной сложностью, слабой формализованностью, наличием большого числа факторов неопределенности. В то же время НЛР получили большое распространение и в системах управления относительно простыми с точки зрения математического описания объектами, придя на смену традиционным ПИ-, ПД- и ПИД-регуляторам. Причинами такой замены послужили, с одной стороны, стремление разработчиков к интеллектуализации производств, с другой стороны, положительный опыт их применения. Действительно, во многих публикациях отмечено, что использование НЛР за счет нелинейного характера преобразования сигналов потенциально может обеспечить лучшие показатели качества системы по сравнению с традиционными регуляторами. Однако введение нелинейностей в закон управления может как улучшить, так и ухудшить качество системы. Поэтому важной задачей представляется оценка влияния различных настроек НЛР на вид генерируемых нелинейных характеристик и, соответственно, на показатели качества системы управления.

Ранее было показано, что при управлении динамическими объектами 2–4 порядков введение нелинейных звеньев с повышенным коэффициентом усиления вблизи начала координат позволяют улучшить качество управления [1], а также то, что конкретное аналитическое описание функций принадлежности не является принципиальным, однако их степень растяжения-сжатия оказывает существенное влияние на характер переходных процессов [2]. В данном докладе показано, что показатели качества системы могут быть существенно улучшены, если функции принадлежности крайних термов входных лингвистических переменных растянуты, а функции принадлежности центральных термов сжаты.

Литература

1. **Анисимов Д.Н.**, Севидова Д.О., Федорова Е.В. Влияние нелинейных свойств нечеткого регулятора на динамику системы управления // Тр. XXVIII Междунар. науч.-техн. конф. «Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации». Алушта, 14–20 сентября 2019 г. — М: НИЯУ МИФИ, 2019. — С. 77–78.
2. **Анисимов Д.Н.,** Грязнов С.М., Федорова Е.В. Оценка свойств нечетких систем управления на этапе формирования базы знаний // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2018. — Т. 19, №5. — С. 291–297.

П.Д. Василькова, асп.; А.А. Абакумов, асп.;
рук. Д.Н. Анисимов, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИСТЕМ С ПЕРЕКРЕСТНЫМИ СВЯЗЯМИ МЕТОДОМ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Идентификация является одним из важных этапов при проектировании систем автоматического управления. На кафедре управления и информатики НИУ «МЭИ» был разработан метод идентификации динамических объектов в непрерывной временной области, получивший название метода экспоненциальной модуляции (МЭМ) [Л]. К настоящему времени уже накоплен достаточно большой опыт применения МЭМ для идентификации линейных и нелинейных динамических объектов, объектов, описываемых иррациональными передаточными функциями, объектов с широтно-импульсной модуляцией. Однако на данный момент остается не исследованным такой важный вопрос, как идентификация многосвязных систем. При этом наиболее важными представляются два аспекта: оценка точности параметрической идентификации при наличии случайных помех, аддитивно приложенных к разным участкам структурной схемы, и исследование возможности однозначного определения положения отдельных звеньев в структуре системы.

В работе раскрывается ранее неизученная область возможного применения МЭМ для многомерных систем управления. Рассмотрена возможность идентификации моделей двух двумерных систем:

— с антисимметричными перекрестными обратными связями;
— с симметричными перекрестными связями.

В ходе исследования были получены аналитические соотношения, позволяющие однозначно восстановить исходную структуру моделей систем по оценкам передаточных функций каналов. Исследована возможность идентификации двумерных систем при воздействии помехи. Показано, что модель системы с антисимметричными перекрестными связями является однозначно восстановимой с помощью процедуры идентификации даже в условиях зашумленных реализаций. При рассмотрении второй рассмотренной структуры не удалось восстановить адекватную модель по причине высокого уровня относительной погрешности определения параметров системы. Однако процессы на выходе системы повторяют процессы на выходе исходной модели или близки к ним.

Литература

1. **Анисимов Д.Н.** Идентификация линейных динамических объектов методом экспоненциальной модуляции // Вестник МЭИ. — 1994. — №2. — С. 74–78.

Д.А. Каленькин, студент;
рук. к.т.н., доц. М.Ю. Косинский НИУ «МЭИ», ФГУП МОКБ «Марс»

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТЫ ДИСКРЕТИЗАЦИИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Система стабилизации (ССт) — одна из важнейших систем входящих в состав беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Она предназначена для компенсации различного рода возмущений различной величины и продолжительности. Для повышения возможностей таких систем в их состав повсеместно вводятся цифровые вычислители.

Но при разработке таких систем возникает необходимость решения задач, которых не было при проектировании аналоговых регуляторов. Одной из ключевых среди которых становится выбор частоты дискретизации, которая может определяться динамическими свойствами непрерывной части и требованиями, предъявляемыми к системе.

Одним из простейших подходов к определению подходящего значения частоты дискретизации является использование приближенного выполнения условий теоремы Котельникова.

Однако на практике дополнительно необходимо учитывать и характеристики вычислителя — способен ли он производить расчёт управляющего воздействия с выбранной частотой.

Также значительное влияние на выбор зависит от характеристик контрольно-измерительных устройств с цифровыми интерфейсами, применяемых в ССт. Использование частоты дискретизации ССт превышающей частоту формирования измерительной информации требует применения специальных методик её обработки.

В результате во многих практических приложениях выбор частоты дискретизации может зависеть от результатов исследования её влияния на устойчивость системы и качество переходных процессов. Проводится серия моделирований с частотами разной величины, среди которых выбирается то значение, при котором получаются приемлемые результаты по устойчивости и качеству переходных процессов.

Литература

1. **Кузовков Н.Т.** Системы стабилизации летательных аппаратов (баллистических и зенитных ракет): Учеб. пособие для вузов. — М.: «Высш. школа», 1976.
2. **Теряев Е.Д., Шамриков Б.М.** Цифровые системы и поэтапное адаптивное управление. — М.: «НАУКА», 1999.

И.В. Жандарский, асп.; рук. В.А. Шихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В РАДИОЛОГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОТОКОЛА ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ

Системы поддержки принятия решений (СППР), как правило, решают важные задачи без прямого участия человека. Принятие решения в большинстве случаев заключается в генерации возможных альтернатив решений, их оценке и выборе лучшей альтернативы [1]. Создание СППР для повышения эффективности работы врача-рентгенолога является актуальной задачей на сегодняшний день.

Разработка подобного рода систем является трудоемкой и сложной задачей. При проектировании СППР необходимо изначально заложить архитектурные принципы, которые в будущем обеспечат возможность расширения и изменения системы. Для обеспечения требуемых качеств, в настоящее время, широко используется проектирование с применением модульно-блочной технологии, где отдельные модули не зависят друг от друга и легко могут быть заменены или модифицированы. На рис. 1 представлена структурная схема разрабатываемой СППР. Систему можно условно разбить на две части: автоматизированное рабочее место (АРМ) врача-рентгенолога и подсистема поддержки принятия решений (ППР) [2].

В данной работе обоснована актуальность разработки СППР в радиологии для повышения качества формирования протокола лучевой диагностики, приведена структурная схема и рассмотрены основные модули разрабатываемой системы.

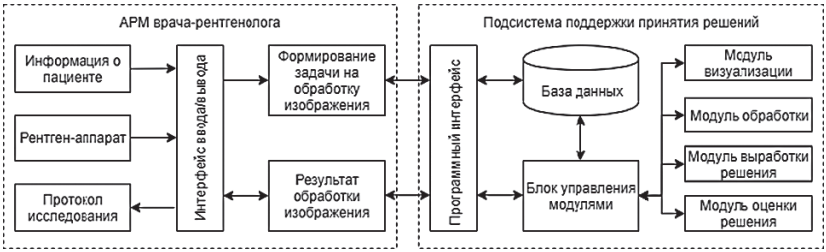


Рис. 1. Структурная схема СППР

Литература

1. **Хай Г.А.** Компьютерная поддержка работы врача // Информационные технологии в здравоохранении. — 2001. — №10–12. — С. 10–11.
2. **Терелянский, П.В.** Системы поддержки принятия решений. Опыт проектирования: монография / П.В. Терелянский; ВолгГТУ. — Волгоград, 2009. — 127 с.

А.Е. Коченгин, аспирант; рук. В.А. Шихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ ВИЛКОКСОНА ПРИ РЕШЕНИИ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ТИПОВЫМИ ОСОБЕННОСТЯМИ

Решается проблема выявления отклонений при ведении учета потребляемой электроэнергии на границе балансовой принадлежности электросетевой компании и потребителя от установленных договорными отношениями значений. В качестве источника основной информации выступают профили электрической нагрузки. Предлагается подход к повышению разрешимости задач дискриминации данных посредством непараметрического критерия знаковых рангов Вилкоксона при принятии решений в ситуациях с особенностями в сравниваемых выборках данных типа «смещение по вертикали» и «масштаб». Модифицированный критерий Вилкоксона рассматривается в качестве инструмента выявления отклонений при ведении технологического процесса, которые не превышают пороговые значения, но оказывают существенное влияние на технико-экономические показатели. Предложенный метод выявления критических событий с применением модифицированного критерия Вилкоксона позволяет определять, как факт наличия события, так и производить их распознавание. Доказывается, что мощность предложенного модифицированного критерия Вилкоксона не ухудшается по сравнению с классическим критерием Вилкоксона. Произведенная обработка учетных данных на примере электропотребления одного из нефтехимических промышленных предприятий позволила протестировать возможность применения модифицированного критерия Вилкоксона в составе вычислительной процедуры разработанного алгоритма выявления критических событий. Предложенный подход позволяет осуществлять выявление наличия и идентификацию значимых событий, не нарушающих процесс распределения энергии, но имеющих существенное значение для функционирования системы распределения и потребления электроэнергии. Эта информация имеет важное значение и может быть использована для прогнозирования нарушений, что, в том числе, приводит к быстрому принятию управляющих решений и позволяет, в частности, избежать штрафных санкций.

А.А. Ларин, аспирант; рук. Т.В. Ягодкина, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫМИ ОБЪЕКТАМИ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Одним из наиболее распространенных методов управления, основанных на представлении систем в пространстве состояний, является метод модального управления. Модальное управление (МУ), или синтез модальных регуляторов можно определить, как задачу управления, в которой изменяются моды (собственные числа матрицы объекта или системы) с целью достижения желаемого качества управления. Метод помещения всех корней (полюсов) замкнутой системы в любые наперёд выбранные положения предоставляет разработчику широкие возможности обеспечения требуемых показателей качества протекания процессов и составляет предмет интенсивно разрабатываемой в настоящее время теории. Для любого устройства, служащего для передачи информации, справедливо то, что выходная величина проявляется с некоторым запаздыванием на время τ относительно момента поступления информации на вход устройства. В ряде случаев это время настолько мало, что им пренебрегают и считают, что практически информация на входе и выходе возникает в один и тот же момент. Наиболее точными методами идентификации многомерных объектов являются методы, реализованные в секции «Ident» Matlab, поэтому для определения модели используется алгоритм метода идентификации на основе анализа подпространств [1].

Однако стоит отметить, что вопросы точности и грубости модели идентификации для модальных систем с запаздыванием требуют дополнительных исследований. Звено определяется как запаздывающее, если оно описывается уравнением $y(t) = x(t - \tau)$, где τ – время запаздывания. Передаточная функция звена запаздывания: $W(s) = e^{-s\tau}$. Для увеличения точности данного звена необходимо изменять его порядок функции-аппроксимации Паде, чем больше это число, тем ближе переходный процесс к идеалу и тем дольше ведется расчет [2].

Литература

1. **Ву Ань Хиен, Ягодкина Т.В.** Синтез инвариантной системы адаптивного модального управления на базе следящей системы // Фундаментальные исследования. – 2016. – №6 (часть 1). — С. 52–57.
2. **Rosenbrock H.H.** State space and multivariable theory. — London: Nelson, 1970.

Е.В. Табаков, А.И. Зинина, студенты; рук. М.Ю. Косинский
МОКБ «Марс», НИУ «МАИ», НИУ «МЭИ»

АВТОМАТИЗАЦИЯ АНАЛИЗА ОРГАНИЗАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Центральной частью любой системы управления (СУ) космического аппарата является бортовой вычислитель. В нём происходит исполнение программных модулей (ПМ) бортового программного обеспечения (ПО), которые отвечают за работу всех систем КА.

В связи со значительными требованиями, предъявляемыми к надёжности работы бортового вычислителя, является весьма важным осуществление анализа нормативности организации вычислительного процесса (ОВП). К критериям нормативности можно отнести корректность отработки циклограмм бортового вычислителя, нормативность параметров электропитания, нормативное прохождение внутренних тестов исправности, отсутствие отказов граней.

Подобный контроль осуществляется путём анализа телеметрической информации (ТМИ), формируемой СУ. В настоящее время расшифровка ТМИ и последующий её анализ производятся вручную. Однако подобный подход является достаточно трудозатратным, может приводить к ошибкам в условиях большого количества данных, что не позволит своевременно выявить замечания к работе вычислителя.

Поэтому задача автоматизации проведения подобного анализа представляется актуальной. Для её решения предложен алгоритм, согласно которому загрузка, расшифровка и выделение контролируемых параметров ТМИ производится автоматически. При этом для систематизированного хранения критерии нормативности (наименование параметра и его нормативное значение) предложено использовать базу данных. Формирование суждения о нормативности ОВП производится на основе поиска и сравнения фактических (из ТМИ) значений контролируемых параметров с допустимыми (из базы данных).

Предложенный алгоритм реализован в виде специального программного средства. Направлением дальнейшей работы является дальнейшее расширение перечня параметров и критериев, анализируемых автоматически.

Литература

1. **Андреев В. П., Волович Н.В., Глебов В.М. и др.** Под редакцией А.С. Сырова, Проектирование и испытания бортовых систем управления: Учебное пособие — М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2011. — 344 с.

А. К. Абд Эльрахим, асп.; рук. В.А. Шихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ МИКРОЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Рассматривается микроэнергосистема (микрогрид) представляющая собой единое объединение разнородных распределенных источников энергии и разнотипных потребителей.

Микрогрид представляет собой композицию из субъектов, формализуемых в виде непрерывных, дискретных и дискретно-событийных моделей. Проведение аналитических исследований таких систем крайне затруднительно и возможно только при существенных упрощениях, которые, как правило, не допустимы по соображениям потери важной информации. В связи с характеристиками подобных систем, задача нахождения эффективных подходов, применимых для решения задачи управления микрогрид является актуальной проблемой.

В настоящее время появляются новые технологии для решения задач, связанных с управлением микроэнергосистемами с целью повышения эффективности функционирования подобных систем [1]. В связи с этим, обсуждаются подходы, основанные на мультиагентных технологиях [2], так как они позволяют более полно отразить наличие данных по отдельным субъектам (агентам) системы.

В данной работе предлагается подход для решения задачи оценивания эффективности функционирования микроэнергосистемы, представленной в виде мультиагентной системы. Предлагаемый подход основан на схеме, разработанной для оценки эффективности микрогрид путём рассмотрения оценки функционирования как системы в целом, так и отдельных её субъектов, что позволяет формализовать процесс интеграции разнородных целевых функций в единые критерии по типовым индексам эффективности функционирования микроэнергосистемы: техническим, экономическим и экологическим.

Литература

1. **Gregor R., Ulf H., Pascal B., Simon F.** Multi-agent systems' asset for smart grid applications // Computer Science and Information Systems. Vol. 10, Issue 4, 2013.P. 1799–1822.
2. **Shikhin V., Abd Elraheem A., Ren J.,** "Real-Time Control of Microgrid via Multi-Agent Approach," // 2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Moscow, Russia, 2018. P. 1–5.

Д.С. Обычайко, асп.; рук. В.А. Шихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ДИАГРАММА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В процессе функционирования киберфизической системы (КФС) ее компоненты могут с некоторой вероятностью выходить из строя. Необходимо оценить целесообразность и возможные затраты на восстановление того или иного компонента. Может оказаться, что целесообразнее будет произвести замену компонента на новый, чем производить его ремонт.

Предложим диаграмму принятия решения по повышению надежности КФС [Л]. На диаграмме по горизонтальной оси отображается срок эксплуатации системы во времени t, называемый жизненным циклом отдельного компонента $T_{ЖЦi}$ и системы в целом $T_{ЖЦ}$. Предполагается, что время жизненного цикла компонента $T_{ЖЦi}$ не меньше установленного в проектной документации жизненного цикла всей системы $T_{ЖЦi} \leq T_{ЖЦ}$. По вертикальной оси отображаются стоимостные характеристики: $C_Б(t)$ – (балансовая) стоимость компонента, которая падает (условно линейно, без потери общности результатов исследования) от начального значения C_0 до нуля по истечении жизненного цикла $T_{ЖЦ}$, а для i-го компонента от C_{0i} до $T_{ЖЦi} = T_{ЖЦ}$; $\Delta C_{РЕМi}$, – затраты на ремонт компонента и $\Delta C_{ЗАМi}$ — затраты на замену компонента. Предлагается производить выбор, основываясь на проверке соотношений между рассчитанными значениями следующих коэффициентов:

$$K_{ЖЦ}=C_0/T_{ЖЦ};\ K_{РЕМ}=\Delta C_{РЕМi}/\Delta T_{РЕМi};\ K_{ЗАМ}=\Delta C_{ЗАМi}/\Delta T_{ЗАМi},$$

где $K_{ЖЦ}$, $K_{ЖЦi}$ – коэффициент жизненного цикла системы, и i-го компонента, $K_{РЕМi}$ — коэффициент эффекта ремонта i-го компонента, $K_{ЗАМi}$ — коэффициент эффекта замены i-го компонента, имеющие размерность [руб/год].

В расчетных формулах в числителе указаны затраты на соответствующее мероприятие (C_0, $\Delta C_{РЕМi}$, $\Delta C_{ЗАМi}$), а в знаменателе ($T_{ЖЦ}$, $\Delta T_{РЕМi}$, $\Delta T_{ЗАМi}$) интервалы времени, пропорциональные приращению коэффициента готовности до $K_{Гi}$ или до $K_Г$, соответствующие измененному времени наработки на отказ.

Если выполняются соотношения $K_{РЕМi} \leq K_{ЖЦ}$ и $K_{РЕМi} < K_{ЗАМi}$, то принимается решение о ремонте компонента. Если выполняются соотношения $K_{ЗАМi} \leq K_{ЖЦ}$ и $K_{ЗАМi} < K_{РЕМi}$, то принимается решение о замене компонента на новый.

Литература

1. **Obychaiko D., Shikhin V., Chrysostomou G.** Reliability Analysis of Cyber-Physical Systems // ICIEAM. Moscow. 2018.

А.В. Сведе-Швец, асп.; рук. О.М. Державин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СОЛНЕЧНЫХ ДАТЧИКОВ ОРИЕНТАЦИИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Направление на Солнце как основное используется в системе ориентации космической техники с самого начала ее существования. Задача, которая ставится перед прибором, это определение направления на Солнце в заданном угле поля зрения и с заданной точностью.

В настоящее время солнечные датчики (СД) различного типа и назначения можно разделить на три категории [1]:

1) аналоговые СД на основе одного или нескольких одноэлементных фотоприемников [2];

2) цифровые одно- или двух- координатные СД высокой точности на основе многоэлементных фотоприемников (КМОП и ПЗС технологии);

3) СД, использующие солнечные панели с помощью метода мультиплексирование [3].

Анализ литературных источников позволяет выделить следующие основные тенденции развития СД и космической техники в целом: переход на отечественную элементную базу; работа в максимально большом поле зрения; работа при больших угловых скоростях космического аппарата; повышение точности; повышение помехозащищенности при сохранении массогабаритных характеристик и энергопотребления.

Кроме того, необходимо гарантировать работу прибора в любых условиях и решить проблему возможного ошибочного реагирования СД на другие источники света.

В докладе подробно проанализированы работа СД различного типа с позиции удовлетворения современным требованиям и основным тенденциям развития.

В качестве наиболее перспективных выделены цифровые СД высокой точности на основе многоэлементных фотоприемников. Подробно рассматриваются преимущества и ограничения данного типа СД.

Литература

1. Датчики систем ориентации космических аппаратов. Датчики положения. http://rlg42.ru/6830;
2. **В. Глазков и В. Котцов.** Фасеточные датчики солнечной ориентации // Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов. М.: ИКИ РАН, p. 137–2008;
3. **Lü, X., Tao, Y., Xie, K., Wang, S., Li, X., Bao, W., Chen, R**. A photodiode based miniature sun sensor. //Measurement Science and Technology — 2017.

А.О. Неретина, студентка; рук. М.Ю. Косинский, доц., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ФИЛЬТРАЦИИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

Бортовая система управления космическим аппаратом (БСУ КА) является одной из важнейших его компонент. Именно БСУ КА отвечает за управление полетом, поддержание требуемой ориентации, выполнение целевых задач [Л].

Качество поддержания требуемой ориентации КА во время полета во многом определяется характеристиками используемых в БСУ КА измерительных датчиков, а также методами обработки информации, поступающей от них в систему.

Сегодня в большинстве КА для получения информации об ориентации используют гироскопические измерители вектора угловой скорости (ГИВУС) для непрерывного её определения, а также астродатчики (АД) для астрокоррекции параметров ориентации и калибровок ГИВУС. Однако, как и все реальные измерительные приборы, данные типы датчиков имеют свои погрешности. Для ГИВУС характерен дрейф выходных значений. Погрешности астродатчика характеризуются наличием шума в выходных данных и невысокой частотой измерений.

В связи с этим для более качественного управления необходимо проводить последующую обработку измерительных данных для выделения полезного сигнала.

В современных БСУ КА могут применяться такие методы фильтрации как метод медианной фильтрации (для очистки сигналов от импульсных шумов), скользящего среднего (для исключения случайной составляющей сигнала), наименьших квадратов (для сглаживания данных на основе аппроксимации измеренного процесса) и фильтр Калмана (для фильтрации данных на основе оценки вектора состояния динамической системы).

В работе проведён сравнительный анализ указанных методов фильтрации, и исследовано их влияние на качество функционирования БСУ КА.

Литература

1. Бортовые системы управления космическими аппаратами: Учебное пособие / Бровкин А.Г., Бурдыгов Б.Г., Гордийко С.В. и др. Под редакцией А.С. Сырова — М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010.

А.Д. Воронов, студ.; рук. А.О. Горбунова, ассистент (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗВИТИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ОБРАЩЕНИЙ РОССЕТИ МОСКОВСКИЙ РЕГИОН

Первостепенной основой для учета и контроля процедуры обработки обращений любой организации, в том числе крупной электросетевой компании служат всевозможные бумажные носители, реестры данных в MS Excel и т.д. Все они в процессе работы обновляются и изменяются. При больших объемах данных поиск и редактирование необходимых сведений, в существующем виде, представляет собой ресурсоемкий процесс, значительно понижающий эффективность деятельности компании и увеличивающий вероятность имиджевых рисков.

Также, при взаимодействии подразделений внутри компании, часто используется электронная почта (MS Outlook) и телефонная связь. Такие действия, без фиксации в единой информационной базе, приводит к проблемам в отслеживании истории обработки обращений и сбору статистики. На сегодняшний день на смену этим рутинным элементам приходят удобные, производительные, а главное быстродействующие информационные системы, представляющие собой специализированное программное обеспечение позволяющее автоматизировать обработку обращений в компании.

В данном случае, наиболее целесообразно реализовать единый бизнес-процесс по обработке обращений потребителей услуг. Первостепенной задачей данного бизнес-процесса будет являться автоматизация процедуры обработки с целью повышения качества подготовки ответов на обращения и снижению сроков рассмотрения.

Проектирование модуля по обработке обращений, в целях импортозамещения, осуществляется с помощью 1С: Предприятие [1], потому, что она является универсальной системой автоматизации экономической и организационной деятельности предприятия. Поскольку такая деятельность может быть довольно разнообразной, система 1С: Предприятие может приспосабливаться к особенностям конкретной области деятельности, в которой она применяется [2].

Литература

1. Сайт 1С: Предприятие 8 http://v8.1c.ru/overview/Term_000000877. htm.
2. **М.Г. Радченко, Е.Ю. Хрусталева.** 1С: Предприятие 8.3 Практическое пособие разработчика. — М.: 1С-Паблишинг, 2013.

И.П. Павлов, адъюнкт; руководитель А.Б. Сизоненко
д.т.н., доцент (КВВУ, Краснодар)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ЦЕЛОСТНОСТИ ДОКУМЕНТОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ДОКУМЕНТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ «РАСПРЕДЕЛЕННЫХ РЕЕСТРОВ»

Созданные подлинные документы должны быть аутентичными, достоверными, целостными и пригодными для использования.

При этом целостность документа складывается из его полноты и неизменности. Важно отметить, что в случае с электронными документами любые системные сбои, обновления программного обеспечения или регулярная эксплуатация системы управления документами не должны влиять на качество сохранности документов.

Информационная безопасность в системах управления документами достигается обеспечением конфиденциальности, доступности и целостности.

Проанализировав модель угроз в системах управления документами, можно сделать вывод, что наиболее вероятным будет воздействие внутреннего нарушителя либо вредоносного программного обеспечения на журнал учета регистрационных данных.

Так как сведения о регистрационных данных документов содержатся в журнале учета, то при изменении журнала учета, происходит усложнение отслеживания местонахождения документа, а при его уничтожении происходит утрата документа.

Данную проблему можно решить путем дублирования информации, а для подтверждения транзакций предлагается использовать электронную подпись. Для этих целей целесообразно применить технологию «Распределенных реестров», которая:

— реализует распределенное хранение регистрационных данных, что снижает вероятность утраты учетных данных;

— обеспечит целостность регистрационных данных документов;

— исключит возможность удаления или изменения баз регистрационных данных.

За создание, включение документа в систему и сохранение информации о его движении, отвечает подсистема контроля.

Для обеспечения и контроля целостности документов, предлагается модель построения подсистемы контроля документных систем на основе технологии «Распределенных реестров».

Секция 17.
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Председатель секции — Желбаков Игорь Николаевич
Секретарь секции — Лупачев Алексей Алексеевич

Д.Н. Белов, асп.; рук. Н.А. Галанина, д.т.н.,
проф. (ЧГУ им. И.Н.Ульянова, Чебоксары)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВНИМАНИЯ ВОДИТЕЛЯ

Актуальность данной работы обусловлена тем, что одной из частых причин дорожно-транспортных происшествий является потеря контроля над транспортным средством, вызванная усталостью, отвлечением внимания водителя. Системы адаптивного круиз-контроля с функцией старт-стоп предполагают наличие устройства, определяющего уровень внимания водителя для возможности автоматического начала движения или передачи управления автомобилем водителю. Современным методом решения этой задачи являются системы видеонаблюдения, определяющие направление взгляда водителя.

Новизна проведенных исследований определяется тем, что в данной работе впервые ведется разработка системы, которая определяет уровень внимания водителя не только по направлению взгляда, но и по другим признакам, которые были определены во время проведения экспериментов с использованием как методов выявления зависимостей от времени, проведенного за рулем, так и от показания датчиков, достоверно указывающих об усталости водителя [1].

Авторами были проведены эксперименты — сессии видеозаписи процесса вождения различных водителей продолжительностью около 100 часов с последующим анализом. В качестве базового алгоритма анализа видеоизображений был использован метод Каземи-Салливан для обнаружения лица. В качестве дополнительных признаков были использованы датчик пульса и электроэнцефалограф потребительского класса. К возможным признакам был добавлен характер управления рулевым колесом, для изучения которого был разработан алгоритм определения вращения колеса, основанный на распознаваемых метках.

Возможными вариантами использования разрабатываемой системы являются как встраивание её в системы адаптивного круиз-контроля, так и применение в качестве отдельного устройства, определяющего степень усталости водителя и предупреждающего об её опасном уровне.

Литература

1. **Белов Д.Н.** Анализ видеоизображения и датчиков в реальном времени для определения состояния водителя / Д.Н. Белов, В.В. Ржавин //Информатика и выч. техника: сб. науч. тр.-Чебоксары, Изд-во Чуваш. ун-та,2018. — С. 47–51.

М.В. Панкратова, студ., рук. П.К. Макарычев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПЕРЕМЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

В паспортных данных большинства вольтметров указано, что они позволяют измерять «СКЗ синусоидальных напряжений». Практика показывает, что пользователь редко обращает внимание на эту запись, а если и обращает, то до конца не понимает её важность. Если форма напряжения отличается от синусоидальной, то погрешность результата измерения (Δ) должна включать т.н. погрешность формы $\Delta_ф$. Учёт формы кривой напряжения на результат в общем случае непростая задача. И только частично она решается посредством использования т.н. TRMS-вольтметров.

Если с помощью осциллографа вы убедились, что напряжение похоже на синусоидальное, проблема снимается. Но в противном случае требуется дополнительный анализ. Дело в том, что несинусоидальный сигнал есть сумма нескольких гармоник. Некоторые старшие гармоники могут выходить за рабочий диапазон частот вольтметра — он их «не видит» и результат измерений искажается. Возникает погрешность, которую назовём здесь частотной Δ_f.

Кроме того, коэффициент амплитуды полигармонического напряжения (ПГН) может быть существенно выше 1,41 — так для гармонических сигналов. По этой причине часть измеряемого сигнала — выходящая за диапазон измерения АЦП — может игнорироваться измерительным каналом. Эту погрешность назовём амплитудной Δ_a.

Для сигналов с детерминированной формой (прямоугольный, треугольный, трапецеидальный и т.п.) гармонический состав можно найти в справочниках. Получив гармонический состав, необходимо сопоставить рабочий частотный диапазон вольтметра с частотным спектром сигнала, выявить отсечённые гармоники и затем оценить обе составляющие погрешности формы сигнала $\Delta_ф = \Delta_f + \Delta_a$.

В докладе будут представлены результаты метрологических испытаний ряда современных вольтметров при измерении ПГН, которые подтвердят актуальность обозначенной проблемы, а также будет предложена структура вольтметров нового, 5-го поколения.

Отличительной особенностью новых вольтметров является способность рассчитать и отобразить погрешность результата измерений (Δ) на отсчётном устройстве (дисплее). При этом наряду с инструментальными составляющими ($\Delta_{ин}$) погрешность Δ будет включать погрешность формы ($\Delta_ф$), а также погрешность взаимодействия $\Delta_{вз}$, важность «автоматического» учёта которой будет отражена в докладе.

Работа выполнена автором по материалам выпускной бакалаврской и курсовых работ 1-го года обучения в магистратуре.

Ле Тхи Минь Зунг, бак.; К.С. Куликова., студ.;
Нэй Мью Чжо, асп.; рук. А.А. Лупачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОГО ТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В СЕНСОРАХ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

В связи в развитием химической промышленности и ростом добычи угля в шахтах возникают потенциальные опасности, причиной которых являются горючие газы (ГГ). Таким образом, определение концентрации ГГ является важной и актуальной задачей.

Известны следующие методы измерения концентрации ГГ с термокаталитическими сенсорами: статический и динамический. Общей чертой этих методов является использование рабочего (РЧЭ) и опорного (ОЧЭ) чувствительных элементов. Причём один из них снабжен активной поверхностью, на которой выделяется дополнительное тепло за счет беспламенного горения ГГ. Выходные сигналы ЧЭ пропорциональны изменению температуры ЧЭ и, следовательно, сопротивлению терморезисторов. На основе этой информации формируется сигнал пропорциональный концентрации ГГ (например, метана).

В данной работе рассматривается термокаталитический динамический метод (ТКДМ). Отличие динамического метода от статического состоит в обработке переходных процессов (ПП), формирующихся ЧЭ при их импульсном питании [1, 2]. При этом производят анализ двух ПП: в один момент времени или в различные моменты времени.

Однако в известных работах отсутствует информация о том, как следует выбирать временные параметры импульсного питания и моменты обработки сигналов ПП. Целью настоящей работы является определение этих параметров путем цифрового моделирования ТКДМ.

Результаты моделирования позволили найти рекомендации по соотношению требований к постоянным времени ЧЭ с позиций минимизации динамической погрешности измерения концентрации ГГ.

Литература

1. **Савельев В.А., Комиссаров А.В.** Способ определения концентрации горючих газов в кислородосодержащей среде. Патент РФ №2156972. G01N 27/16. 27.09.2000, Бюл. №27.
2. **Карпов Е.Ф., Карпов Е.Е., Манюшин А.И., Миронов С.И. и др.** Способ и устройство детектирования довзрывных концентраций метана в воздухе. Патент РФ 2447426. G01N 27/18. 10.04.2012, Бюл. №10.

А.М. Быков, студ.; рук. С.И. Герасимов, ст. преп. (НИУ МЭИ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА В 1D-ПРОСТРАНСТВЕ ЭХОЛОКАЦИОННЫМ СПОСОБОМ

Определения позиции исследуемого объекта в заданном пространстве является актуальной задачей и широко применяется в геолокации, навигации и военной отрасли (отслеживание перемещения целей). Ярким примером могут служить спутниковые системы навигации GPS, ГЛОНАСС и пр. [1]. Также возможно определять координаты объекта по сигналам от стационарно установленных вышек сотовой связи (технология A-GPS) в двумерном пространстве.

Частным случаем является определение координаты перемещающегося или неподвижного объекта в одномерном пространстве. Подобный объект может быть использован для транспортировки различных грузов, например, в пределах помещения (склад, производственный цех и т.д.) или на открытом пространстве. Транспортное средство, управляемое дистанционно или в автоматическом режиме, перемещается строго по специальным направляющим (рельсы).

Задача определения координаты объекта в одномерном пространстве сводится, по сути, к измерению расстояния (дальности) от электроакустического датчика до объекта при известном априори положении датчика относительно траектории движения объекта. Датчик регистрирует отраженные от объекта акустические (ультразвуковые) волны, излученные в направлении предполагаемого объекта самим датчиком. В свою очередь, задача определения расстояния включает в себя измерение времени распространения эхо-сигнала. Примером здесь могут служить ультразвуковые и лазерные дальномеры [2].

Важно отметить довольно высокие требования, которые предъявляются к устройству, выполняющему данную функцию, в частности обеспечение разрешающей способности по времени порядка единиц наносекунд. Вместе с этим, следует принимать во внимание весьма сильную зависимость скорости распространения акустических волн от параметров среды (температура, влажность, давление и пр.). Кроме того, ситуация осложняется необходимостью выделения полезного сигнала на фоне присутствия шумов, вызванных отражениями от других объектов, расположенных на пути следования волн. Возможное решение — использование методов цифровой обработки принятых сигналов.

Литература

1. **Бессонов А.А., Мамаев В.Я.** Спутниковые навигационные системы: Учебное пособие. — СПб.: ГУАП, 2006. — 36 с.
2. **Бокшанский В.К., Бондаренко Д.А., Вязовых М.В. и др.** Лазерные приборы и методы измерения дальности: учеб. пособие. — под ред. В.Е. Карасика. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. — 92 с.

Р.А. Андрианов, студ.; рук. А.А. Лупачев., к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТЕРМОАНЕМОМЕТРОВ

В измерителях расхода жидкостей и газа широко используются цифровые быстродействующие методы преобразования скорости потока в код. Это обусловлено тем, что необходимо получать информацию о нестационарных потоках с высокой точностью. Для этих целей широкое распространение получил термоанемометрический метод (ТАМ) [1] с импульсным режимом работы (ИРР), использующий зависимость между скоростью потока и теплоотдачей помещенного в поток чувствительного элемента (ЧЭ), нагретого электрическим током.

ИРР позволяет провести косвенное измерение скорости потока на основании измерения постоянной времени термодатчика. В случае ИРР отсутствует влияние температуры потока и начальной температуры термоанемометра на погрешность измерения. Известен способ ТАМ с ИРР [2], использующий нелинейный термодатчик (термистор), для которого постоянная времени измерительной цепи нелинейно зависит от скорости потока.

Данное исследование направлено на решение вопроса о целесообразности использования в модифицированном способе линейного терморезистора в качестве термодатчика.

Проведено цифровое моделирование процессов разогрева и остывания ЧЭ, независимо от его природы. Исследования позволили выбрать наиболее эффективный метод преобразования информативных параметров. Также была сделана оценка предельной погрешности косвенного измерения скорости потока с использованием различных известных методов преобразования [3]. Сравнение предельных оценок погрешности результатов моделирования с аналитическими оценками позволило выбрать наиболее эффективный вариант построения импульсного микропроцессорного термоанемометра.

Литература

1. **Ураксеев М.А., Романченко А.Ф. Абдрашитова Д.Р. и др.** Перспективы термоанемометрических методов измерения расхода газа или жидкости. Электронный журнал «Исследовано в России», 2001, №51, — С. 587–593.
2. **Дудкин Н.И. Дудкин М.Н. Адаев И.С.** Способ термоанемометрических измерений. Патент RU №2427843. G 01 N 25/00. 27.08.2011. Бюл. №35, 2011.
3. **Мелентъев В.С.** Методы и средства измерения параметров электрических цепей на постоянном токе. Самара: СГТУ, 2004. 120 с.

Б.Е. Митенин, студент, М.В. Браткова, студент,
рук. Г.В. Антипов, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ, Москва)

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ С БЕСПРОВОДНЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ

Температурные измерения занимают большую часть общего объема измерений, проводимых в промышленности, науке и в быту. Современной тенденцией температурных измерений является использование полупроводниковых преобразователей температуры в код и беспроводных технологий передачи результатов измерения. Основными требованиями к таким устройствам являются высокие точностные характеристики, необходимая дальность связи и низкое потребление, позволяющее работать в течение длительного времени от аккумуляторного источника питания.

Указанным требованиям в полной мере отвечают полупроводниковые температурные датчики с цифровым выходом [1]. Выход датчика через последовательный интерфейс может быть подключен к входу микроконтроллера с целью дальнейшей обработки и передачи результатов измерения. Примерами таких датчиков являются микросхемы серии ADT74xx (Analog Devices) и LMT01x (Texas Instruments). Сравнение метрологических характеристик этих устройств, показывает, что они примерно одинаковы. Однако, использование статистических характеристик датчиков LMT01x и алгоритмов линеаризации функции преобразования, позволяет снизить значение погрешности во всем диапазоне входных температур в 2–3 раза. В докладе приводятся алгоритмы линеаризации и результаты моделирования по снижению общей погрешности преобразования температуры.

Датчики температуры с цифровым выходом находят широкое применение в измерительных системах с беспроводными интерфейсами. При выборе беспроводного интерфейса руководствуются критериями обеспечения необходимой дальности, потребления питания и экономичности. С учетом указанных критериев и относительно небольших объемов передаваемой информации беспроводные системы предпочтительнее строить с простыми протоколами связи в разрешенных диапазонах частот 433МГц и 868МГц. В докладе рассматривается структура универсального модуля с преобразователем температуры на основе микроконтроллера, трансивером серии RFMxx (HOPERF) и интерфейсами USB и RS-232, обеспечивающими сбор, обработку и передачу результатов измерения от удаленных объектов.

Литература

1. **Уолт Кестер.** Методы практического конструирования при нормировании сигналов с датчиков. Analog Devices Inc., AUTEX Ltd. Автор перевода Горшков Б.Л., М., 2004.

Е.А. Еличева, студ.; Нэй Мью Чжо, асп; рук. А.А. Лупачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНТЕРВАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ СТАРШИХ ПОРЯДКОВ

Основой для оптимизации современных средств измерения является использование текущей информации о переходном процессе (ПП) в измерительной цепи (ИЦ) [1]. Важную роль в анализе такой информации отводится критериям определения момента окончания ПП в ИЦ, представленных группой эмпирических интервальных критериев (ИК). Стандартизированные ИК предполагают использование в качестве базовой модели ИЦ апериодическое звено первого порядка [2] с параметрической неопределённостью в виде текущего значения постоянной времени цепи (ТЗПВЦ). Однако имеется ограничение по использованию ИК, которое получило название — критическая постоянная критерия (КПК). Ранее было показано, что ИК правильно решает вопрос о достижении установившегося значения ПП в ИЦ только при КПК не более ТЗПВЦ [2].

Реальная ИЦ характеризуется не только параметрической, но и структурной неопределённостью. В докладе ставится задача исследования поведения ИК для цепей с динамическими моделями старших порядков.

С этой целью было проведено цифровое моделирование применения ИК при взаимодействии с ИЦ третьего порядка, представленной в терминах диаграммы Вышнеградского (ДВ). Отличие настоящих исследований от проведённых ранее состоит в поиске характера зависимости КПК от главного параметра критерия — длительности интервала наблюдения (ДИН) за ПП в реальном [2]. Объектом исследования является апериодическая область изменения параметров «А» и «В» ДВ. Анализ результатов моделирования позволил получить эмпирическую зависимость КПК в форме гиперболы от параметра А = В с линейным масштабным коэффициентом в виде ДИН, при этом предельная относительная погрешность аппроксимации не превышала ± 1%.

Литература:

1. **Щепетов А.Г., Пидкович А.А., Цукерман М.А.** Расчет длительности переходного процесса средствами программы Mathcad. // Приборы. 2019. №7. С. 31–36.
2. **N. Serov, Nay Myo Kyaw, A. Lupachev, E. Elicheva, Y. Bekhtin, A. Petsinyarzh**. Generalization of Studies in the Steady-state Value Interval Criterion for the Measuring Circuit with Structural Uncertainty. // Proceedings of 29th National Scientific Symposium with international participation «METROLOGY and METROLOGY ASSURANCE 2019», 6–10 September, 2019. Sozopol, Bulgaria.

А.В. Коваленко, студ.; Нэй Мью Чжо, асп. (НИУ «МЭИ»); А. Р. Пецинярж, студ. (МГТУ им. Н.Э. Баумана); рук. А.А. Лупачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);

РАЗРАБОТКА РОБАСТНОГО К ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИНТЕРВАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ЗНАЧЕНИЯ

Переходной процесс (ПП), происходящий при испытаниях сложных объектов [1], можно описать динамическим уравнением первого порядка. Такое описание принято по умолчанию за базовую модель в отечественных и зарубежных стандартах, определяющих методы нахождения момента наступления установившегося процесса (МНУП) в режиме on-line.

Сложные объекты характеризуются большим разбросом возможных значений постоянной времени, т.е. существенной параметрической неопределённостью измерительной цепи.

В качестве критериев окончания переходного процесса в режиме on-line применяются критерии интервального вида (КИВ). В работе [2] указано, что КИВ имеют ограничение на использование, так как существует область параметров модели, в которой КИВ принимает ложноположительное решение с динамической погрешностью больше допускаемой.

В практических задачах испытаний сложных объектов априорная модель нередко нарушается и поэтому желательно использовать модифицированные КИВ. Такие критерии должны слабо зависеть от нарушения существующих ограничений, однако давать достаточно высокую точность оценки МНУП. Такие критерии, обычно называются робастными или надёжными.

Модифицированный критерий должен производить управление измерительным экспериментом путем настройки длительности соседних интервалов наблюдения за сигналом переходного процесса, исходя из допускаемой динамической погрешности.

Литература

1. **Yu.S. Bekhtin, A.A. Lupachev, A.N. Serov, A.V. Kovalenko.** «Analysis of interval criteria end of the transient process in the measuring circuit». Proceedings of 7th Mediterranean on Embedded Computing «MECO»2018», Jun 10–14, 2018. Budva, Montenegro, — 4 p.
2. **N. Serov, Nay Myo Kyaw, A. Lupachev, E. Elicheva, Y. Bekhtin, A. Petsinyarzh**. «Generalization of Studies in the Steady-state Value Interval Criterion for the Measuring Circuit with Structural Uncertainty». // Proceedings of 29-th National Scientific Symposium with international participation «METROLOGY and METROLOGY ASSURANCE 2019», 6–10 September, 2019. Sozopol, Bulgaria.

Секция 18.
НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА

Председатель секции — Лунин Валерий Павлович
Секретарь секции — Барат Вера Александровна

Е.А. Славинская, асп.; рук. И.В. Терехин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОД ПРЯМОГО КОНТРОЛЯ УРОВНЯ МЕТАЛЛА В СОРТОВЫХ КРИСТАЛЛИЗАТОРАХ

Технология непрерывного литья стали повсеместно применяется на предприятиях черной металлургии. Качество металла и производительность машины непрерывного литья связаны с точностью поддержания уровня жидкого металла в кристаллизаторе. Для контроля уровня металла широко используется вихретоковый метод. Его проблематика состоит в том, что реализация метода в сортовых кристаллизаторах возможна только при размещении преобразователя сбоку и определении уровня сквозь медную стенку толщиной 15–20 мм по ее нагреву, связанного с положением уровня. Быстродействие такого способа контроля ограничено скоростью переходных тепловых процессов в медной стенке. Поэтому заполнение кристаллизатора металлом необходимо контролировать напрямую, без опоры на нагрев стенок. Эта задача не была ранее решена нигде в мире, несмотря на ее актуальность и коммерческую востребованность.

Определение уровня напрямую требует разрешения ряда проблем. Первая состоит в необходимости выделить сигнал от металла на фоне сигнала от нагрева медной стенки при соотношении 1 к 50 в пользу последнего. Вторая заключается в том, чтобы обеспечить автоматическую калибровку прибора, необходимую из-за многообразия форм и типоразмеров медных стенок и других факторов разливки.

Автоматическую калибровку обеспечивает матричный тип преобразователя за счет наличия признака формы выходного сигнала [1]. Перемещение уровня вызывает смещение характерной точки распределения, соответствующей координате уровня металла.

Повысить чувствительность преобразователя к металлу удалось, используя обмотку возбуждения шириной 100 мм. Отстройка от нагрева проводилась модуляционным методом, который основан на колебаниях поверхности металла из-за качаний кристаллизатора с частотой 2–5 Гц для предотвращения прилипания заготовки к стенке. Выделение качаний металла производилось в частотной области с помощью цифровой обработки сигналов. Модуляционный способ одновременно позволяет отстроиться от нагрева стенки кристаллизатора и устранить дрейфы преобразователя. Работоспособность предложенного принципа измерения была доказана в промышленном эксперименте.

Литература

1. **Савин И.С., Славинская Е.А., Терехин И.В.** Вихретоковый контроль уровня металла в кристаллизаторе с помощью преобразователя экранного типа // Контроль. Диагностика. 2017. Т. 12. №12. С. 24–29.

М.А. Караваев, инж.; рук. И.В. Соколов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ БЕСКОНТАКТНЫЕ НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С ПОПЕРЕЧНЫМ ПЬЕЗОЭФФЕКТОМ

При ультразвуковом (УЗ) неразрушающем контроле (НК) ряда изделий из полимерных материалов (ПМ) допускается применение только УЗ бесконтактных пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП), работающих через воздушный промежуток [1,2]. Бесконтактный УЗ НК характеризуется низкой чувствительностью, обусловленной отражениями УЗ колебаний (УЗК) на границе сред «воздух — изделие», поэтому для повышения чувствительности НК необходимы ПЭП с высоким коэффициентом электроакустического преобразования (ЭАП).

При бесконтактном НК изделий из ПМ, обладающих большим частотно-зависимым затуханием УЗК, НК осуществляют в низкочастотном диапазоне (f≈100 кГц). Поэтому при одностороннем режиме НК для обеспечения удовлетворительной разрешающей способности длительность сигнала не должна превышать 1–2 периодов колебаний несущей частоты, что требует создания широкополосных бесконтактных ПЭП.

В докладе показано, что с целью повышения коэффициента двойного ЭАП пары ПЭП в конструкции излучающего преобразователя (ИП) следует использовать пьезоэлементы (ПЭ) с поперечным пьезоэффектом, а в конструкции приемного преобразователя (ПП) — ПЭ с продольным пьезоэффектом. ПЭ с поперечным пьезоэффектом с резонансом на частотах около 100 кГц имеют большую напряженность электрического поля по сравнению с ПЭ с продольным пьезоэффектом, а следовательно и более высокий коэффициент ЭАП при излучении. С целью расширения полосы ПЭП частоты резонанса ИП и антирезонанса ПП, а также частоты согласующих слоев могут быть выбраны отличающимися друг от друга.

В докладе показана возможность контролировать многослойные ПМ с помощью разработанных ПЭП. Приведены В-сканы, полученные при использовании зеркально-теневого метода при контроле изделий из ПМ.

Литература

1. **M. Bhardwaj, N. Bhardwaj, T. Eischeid, J. Kunkle, M. Langron, R. Vun,** Phenomenal Advancements in Transducers and Piezoelectric Composites for Non-Contact Ultrasound and Other Applications // Ultrasonic Testing, 2006.
2. **Качанов В.К., Соколов И.В., Караваев М.А.** Разработка ультразвукового мозаичного широкополосного пьезоэлектрического преобразователя для бесконтактного контроля изделий из полимерных композиционных материалов // Измерительная техника. 2015 №2. С. 61–64.

Д.С. Колюх, студ.; рук. Д.В. Тимофеев, к.т.н., инж. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА ЗЕРНА МЕТАЛЛА ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ СТРУКТУРНОГО ШУМА

Определения состояния структуры металла ответственных изделий проводится, как правило, с помощью разрушающих методов контроля, которые используются в лабораторных условиях и предполагают полное или частичное разрушение изделия для получения образца материала с целью исследования его физико-механических характеристик. Очевидно, что для большинства объектов энергетики, машиностроения, авиационной и ракетной техники даже частичное разрушение изделий в процессе эксплуатации объектов невозможно и в этом случае следует использовать неразрушающие методы структуроскопии.

В докладе рассмотрен новый неразрушающий метод ультразвуковой (УЗ) структуроскопии металла, позволяющий косвенно определять размер кристаллических зерен путем анализа статистических характеристик структурного шума (СШ) — совокупного отражения УЗ зондирующего сигнала от многочисленных зерен металла. В данном случае сигнал СШ рассматривается не как шум (помеха), но как информация о структуре. Так как зерна металла распределены случайным образом, то отраженный от них сигнал СШ представляет собой также случайный сигнал, что предполагает необходимость использования статистических характеристик СШ для анализа состояния структуры. Анализ таких сигналов возможно реализовать с помощью разработанного в МЭИ адаптивного многофункционального программно-аппаратного измерительного комплекса УЗ неразрушающего контроля [1], который позволяет производить статистическую обработку сигналов СШ.

В докладе приведены результаты экспериментов, полученные при УЗ структуроскопии изделий из меди с различным средним размером кристаллических зерен. Проведено сравнение полученных результатов с результатами микроскопического исследования образцов. Рассмотрено влияние размера кристаллических зерен на дисперсию СШ и на спектральное частотно-временное представление сигнала СШ.

Литература

1. Ультразвуковая адаптивная многофункциональная дефектоскопия / В.К. Качанов, В.Г. Карташёв, И.В. Соколов, Р.В. Концов, М.Б. Фёдоров. — М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 175 с.

М.С. Доброклонская, студ.; рук. В.П. Лунин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧИ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ

В настоящее время основным требованием к объектам атомной энергетики является обеспечение их безопасности. Одним из основных элементов первого контура реакторной установки типа ВВЭР является парогенератор (ПГ). Самым проблемным узлом парогенератора, определяющим фактический срок службы ПГ, являются теплообменные трубы (ТОТ). Деградация стенок ТОТ приводит к образованию протечек, что представляет угрозу радиоактивного заражения. На российских АЭС для контроля ТОТ получил распространение вихретоковый многочастотный метода контроля с использованием проходного зонда.

Перед введением методики контроля в практику необходимо провести множественные численные расчеты на трехмерных моделях различных ситуаций, сопровождающих процедуру ВТК [1]. При этом важно, чтобы соответствующая программа анализа процесса контроля не требовала серьезных вычислительных и временных затрат.

Целью настоящей работы является совершенствование технологии разработки конечноэлементной модели процедуры вихретокового контроля. Исследование проводится для стандартной калибровочной трубки, имеющей внешнюю и внутреннюю проточки и серию отверстий различной глубины и диаметра. На практике для этой трубки с дефектами известных геометрических параметров получают соответствующую калибровочную характеристику. Для процедуры ВТК такой трубки в работе созданы удобные и практичные модели, сокращающие время расчета и требуемую память по сравнению с «классическим» подходом. Этот эффект достигается путем внимательного выбора граничных условий области решения и учета особенностей распределения конечных элементов в критических областях при построении расчетной сетки для трехмерной модели ТОТ [2]. Достоверность численных исследований подтверждена высокой точностью совпадения результатов расчета с экспериментальными данными.

Литература

1. **Лунин В.П., Жданов А.Г**. Модельные исследования процедуры вихретокового контроля теплообменных труб парогенераторов АЭС; Издательство МЭИ 2015.
2. **Rosell A., Persson G.** Modelling of a Differential Sensor in Eddy Current NonDestructive Evaluation, COMSOL CONFERENCE 2011 — Stuttgart.

Д.С. Агарков, В.И. Борисов, Н.С. Хлюстов, М.Е. Шевченко,
студ.; рук. Д.И. Борисенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

К МЕТОДИКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОТРАЖЕННЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН НА ОБРАЗЦАХ НЕОДНОРОДНЫХ ТВЕРДЫХ СРЕД

Имеются ввиду негомогенные, неизотропные материалы, такие как горные породы. Например, каменные угли, обладающие как слоистостью, так и неравномерностью распределения механических свойств.

При исследовании характеристик акустической волны, претерпевающей внутреннее отражение от поверхности образца угля, возникает проблема. Она заключается в том, что инициирующая волна препятствует регистрации первого вступления отражённой волны.

Для устранения описанной проблемы предлагается формирование направленности инициирующей волны с помощью конфигурации образца, изображенной на рис. 1:

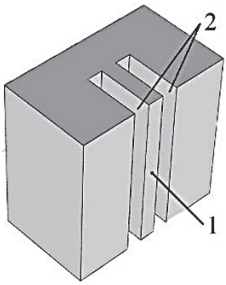


Рис. 1. Конфигурация исследуемого образца: 1 — место удара; 2 — вырезы

Геометрия рассматриваемого образца подразумевает присутствие в нём вырезов, заполненных средой, используемой в качестве надёжного акустического сопротивления, в которых волна будет распространяться с пренебрежимо малой амплитудой.

Акустическая волна способна огибать вырез, если длина волны будет превышать характерные размеры экрана. Для достижения целей эксперимента нужно сформировать условия геометрической акустики и предотвратить огибание. Это достигается соответствующим соотношением характерных геометрических размеров экранирующей прорези и длины волны посылаемого сигнала. Поскольку длина волны для данного материала зависит от частоты сигнала, при возбуждении импульса механическим ударом частоту можно задать выбором сочетания материалов ударника и рабочей поверхности с соответствующими характеристиками.

Доработка математической модели и проведение физического эксперимента составляет предмет наших дальнейших изысканий.

В.В. Бардаков, асп.; рук. В.А. Барат, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ)

ДВУХСТАДИЙНЫЙ МОНИТОРИНГ БАЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДОМ АЭ

Системы мониторинга являются неотъемлемым элементом для обеспечения надежной и безаварийной эксплуатации инфраструктурных объектов. Примером такого рода объектов могут служить мостовые конструкции. Одним из ключевых конструктивных элементов, мостовых конструкций, являются балочные железобетонные (ЖБ) элементы, подвергающиеся изгибным нагрузкам. Метод акустической эмиссии (АЭ), является незаменимым методом неразрушающего контроля, который не имеет аналогов в составе систем мониторинга, благодаря своей высокой чувствительности к развивающимся дефектам.

Традиционно, установка системы АЭ мониторинга осуществляется на объект контроля (ОК), либо на этапе его ввода в эксплуатацию, с самого начала его жизненного цикла, либо на ОК уже находящийся в эксплуатации. Данный принцип справедлив для ОК из металла. Однако бетон является уникальным строительным материалом, прочность которого не является фиксированной, а возрастает с течением времени. В результате, если бетон не наберет необходимую прочность, техническое состояние конструкции будет неудовлетворительным еще на стадии строительства, что в свою очередь будет иметь пагубные последствия в дальнейшем, на стадии эксплуатации.

В результате всего вышесказанного, актуальной, для строящихся мостовых конструкций, является задача проведения двухэтапного мониторинга ЖБ балочных элементов, а именно, мониторинга бетона на стадии твердения, с целью прогнозирования его прочности и мониторинга ее набора с течением времени, и, последующего мониторинга технического состояния ЖБ балочной конструкции находящейся в эксплуатации.

В данной работе представлен комплексный подход к двухстадийному мониторингу ЖБ балочных конструкций, включающий в себя мониторинг на стадии твердения, с прогнозированием прочности, описанный ранее в [1], а также последующий мониторинг конструктивного элемента на стадии эксплуатации, с использованием критериев и подходов, позволяющих определять степень повреждения балочного ЖБ элемента, подверженного внешним нагрузкам, на основании АЭ данных. Работоспособность данного подхода подтверждается серией экспериментов на натурных балочных конструкциях с коэффициентом геометрического подобия близкому к 1.

Литература

1. **Bardakov, V.V. Sagaidak, A.I.** Forecasting the strength of concrete during its hardening by the acoustic-emission method.// Russian Journal of Nondestructive Testing, June 2017, Volume 53, Issue 6, pp. 436–443.

К.Ю. Потанин, студ.; рук. А.С. Мачихин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АЛГОРИТМЫ РАЗВЕРТЫВАНИЯ ФАЗЫ В ЗАДАЧАХ ЦИФРОВОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ

Методы цифровой голографической микроскопии получили широкое распространение в биомедицине и промышленности. Они позволяют осуществлять количественный анализ пространственной структуры и состава фазовых объектов [1]. Основу данных методов составляет регистрация и цифровая обработка интерференционных картин, образованных при наложении волнового фронта, прошедшего через объект или отраженного от него, и эталонного волнового фронта.

Алгоритм получения пространственного распределения фазовой задержки включает спектральную фильтрацию, устранение линейного тренда и вычисление фазы. Ключевым этапом обработки является развертывание фазы, заключающееся в преобразования картины двумерной относительной фазы, принимающей значения только в интервале [-π, π], в картину абсолютной фазы, диапазон значений которой не ограничен (рис. 1). Настоящая работа посвящена сравнительному анализу алгоритмов развертывания фазы, а также исследованию их применимости в зависимости от характеристик исходного интерференционного изображения.

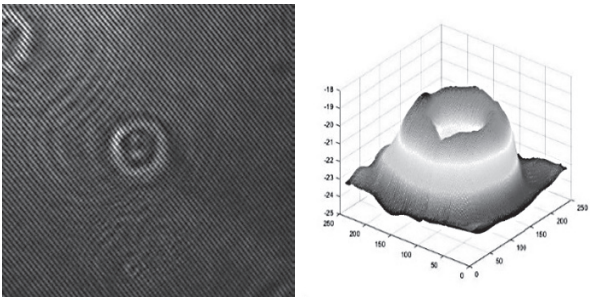


Рис. 1. Исходная интерферограмма (слева) и пространственное распределение фазы, полученное в результате ее обработки (справа)

Литература

1. **M.K. Kim.** Principles and techniques of digital holographic microscopy. // SPIE Reviews. №018005 (2010).
2. **Гонсалес Р., Вудс Р**. Цифровая обработка изображений. // М.: Техносфера, 2006.

В.С. Кошельников, асп. (НИУ «МЭИ»); А.Н. Серветник к.т.н. (ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», г. Москва); В.П. Лунин. д.т.н. доцент (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ПОКАЗАНИЯ ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРИ КОНТРОЛЕ ДИСКОВ АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В задачах диагностики технического состояния авиационных газотурбинных двигателей при проведении инспекций и ремонтов важной задачей является неразрушающий контроль (НК) дисков с целью своевременного выявления в них трещин малоцикловой усталости. В последнее время наряду с традиционными методами НК дисков (капиллярным, рентгеновским) находит эффективное применение метод вихретокового контроля (ВТК) [1]. Применение методов ВТК к контролю дисков требует предварительного расчетного анализа влияния параметров контроля на показания вихретоковых датчиков.

В работе проведено математическое моделирование процесса вихретокового контроля типовых зон концентрации напряжений в дисках авиационных газотурбинных двигателей. С использованием стандартных вихретоковых преобразователей выполнено исследование влияния на амплитуду и фазу сигнала марки используемого материала, настроек дефектоскопа и внешних мешающих факторов. Определены направления для совершенствования методик вихретокового контроля в части повышения достоверности выявления эксплуатационных трещин малоцикловой усталости.

Литература

1. ОСТ 1 01207–2012, Авиационный стандарт. Двигатели газотурбинные авиационные. Неразрушающий контроль основных деталей.

А.А. Быков, асп.; рук. А.С. Мачихин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ПОВЕРХНОСТИ ОБЪЕКТОВ

Измерение температуры является важной задачей в различных отраслях промышленности. Нагрев оборудования во время производственных процессов приводит к его интенсивному износу, что может значительно понижать эффективность работы промышленных комплексов и может привести к поломке оборудования и, в худшем случае, к авариям на производстве. Поэтому необходимо подобрать подходящий метод для контроля температуры сложных промышленных комплексов. Своевременный контроль состояния агрегатов и узлов промышленных установок является ключевой задачей неразрушающего контроля [1]. Такого рода задачи осложняются тем, что требуется контролировать различные труднодоступные узлы, в том числе внутренние поверхности камер и печей. В таких случаях применение классических методов термометрии затруднительно.

При использовании классических тепловизионных методов предполагается, что распределение излучательной способности является постоянным. В реальности же это распределение является изначально неоднородным, а его изменение в ходе работы оборудования может быть свидетельством возникновения дефектов и отклонения режима функционирования от штатного, что приводит к неточностям в измерении температуры. Более точным является видеоспектрометрический метод, основанный на измерении спектра отражения каждого элемента изображения, определения ближайшей кривой Планка и вычислении соответствующей ей температуры и излучательной способности.

В работе проведено сравнение мультиспектральных методов измерения пространственного распределения температуры. Описана разработанная видеоспкекрометрическая установка [2]. Приведены результаты исследования пространственного распределения температуры тестовых и реальных объектов.

Литература

1. **V. Vavilov**. Infrared thermography and thermal control. // Moscow: «Spectrum» Publisher, 2009. 544 p.
2. **A. Bykov, D. Khokhlov, A. Machikhin and P. Zinin**. Temperature Measurement Using Endoscopic Acousto-Optical Spectral Imaging System // Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2018. P. 1–4.

Д.Ю. Русаков, асп. (НИУ «МЭИ»); А.А. Курятин; Г.П. Стариковский; рук. А.Г. Попов, к.т.н. («ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина», Обнинск)

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ ЛИСТОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В качестве объекта контроля рассматриваются клеевые соединения между обшивками и полками элементов жесткости (лонжеронов, стрингеров, стенок) в подкрепленных силовых конструкциях из полимерных композиционных материалов (ПКМ) летательных аппаратов (соединения «лист-лист»).

Традиционные методы неразрушающего контроля (НК) указанных конструкций (ультразвуковой теневой, импедансный [1], резонансный, тепловой, рентгеновский) имеют ряд недостатков при НК клеевых соединений, таких как: низкая чувствительность, ограничение по толщине склеиваемых элементов конструкции, невозможность классификации дефектов и др.

НК соединения «лист-лист» реализуется ультразвуковым эхо-методом следующим образом. Способ обнаружения дефектов в клеевых слоях клеевых соединений листов, выполненных из ПКМ, включает ввод ультразвука в материал одного из соединяемых листов и регистрацию сигналов, отраженных от дефектов, поверхностей раздела «лист-клеевой слой», «клеевой слой-лист» с помощью ультразвукового дефектоскопа, снабженного прямым совмещенным пьезоэлектрическим преобразователем с акустической задержкой. Наличие дефектов в клеевом слое определяется по величине амплитуды ультразвукового сигнала, отраженного от клеевого слоя в месте расположения дефекта, относительно положения строба на экране дефектоскопа, устанавливаемого при настройке дефектоскопа на образце, имеющим искусственные дефекты клеевого слоя (плоскодонное отверстие). Положение и длительность строба выбираются таким образом, чтобы сигнал, отраженный от клеевого слоя, попадал в диапазон этого строба, а амплитуду сигнала от клеевого слоя объекта контроля устанавливают равной средней амплитуде сигнала от клеевого слоя образца в бездефектной зоне [2].

Литература

1. **Неразрушающий контроль: Справочник**: В 7 т. Под общей редакцией В.В. Клюева. Т3: Ультразвуковой контроль/И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. — М.: Машиностроение. 2004. — 864 с.
2. **Курятин А.А., Стариковский Г.П.** Патент РФ №2627539 «Способ неразрушающего контроля клеевого соединения монолитных листов из полимерных композиционных материалов», 2016.

Д.Ю. Русаков, асп. (НИУ «МЭИ»); В.А. Чернушин, А.А. Курятин;
рук. А.Г. Попов, к.т.н. («ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина», Обнинск)

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ИЗГИБНЫХ ЗОН КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ВЫСОКИМ ЗАТУХАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

Для контроля зон изгиба конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) в основном применяются следующие методы неразрушающего контроля (НК): ультразвуковой (УЗ) эхо-метод с применением профилированных линий задержки, тепловой [1], метод свободных колебаний (МСК) [2]. Однако, применение теплового метода и МСК позволяет выявлять лишь приповерхностные дефекты, а применение УЗ эхо-метода для НК изделий из ПКМ с высоким коэффициентом затухания УЗ сигнала затруднительно.

Для НК указанных зон были разработаны и изготовлены специальные преобразователи с рабочими частотами от 0,5 МГц до 2,5 МГц (рис. 1), предназначенные для НК ультразвуковым теневым методом. Главной особенностью датчиков являются гибкие профилированные накладки, изготовленные из специального материала на основе силикона с низким уровнем затухания ультразвука. При проведении НК датчики ориентируются соосно с поворотом на 90° друг относительно друга контактных поверхностей гибких накладок, таким образом излучающий датчик имеет максимальный контакт с вогнутой поверхностью зоной изгиба, а принимающий имеет малое пятно контакта с выпуклой поверхностью, что обеспечивает высокую точность определения границ дефектов. Гибкие накладки позволяют обеспечить более плотное прилегание к поверхностям изделия и могут использоваться без применения контактной жидкости. Использование данных датчиков для НК плоских зон нецелесообразно, в силу меньшей, по сравнению с контролем при помощи датчиков с плоскими накладками, производительностью контроля.

Литература

1. **Вавилов В.П.** Тепловой контроль: Справочник «Неразрушающий контроль». — М.: Машиностроение, 2004. Т. 7.
2. **Ланге Ю.В.** Акустические низкочастотные методы и средства неразрушающего контроля многослойных конструкций. М.: Машиностроение, 1991.

А.В. Иванов, асп.; А.П. Быков. асп.; рук. М.Н. Пиганов, д.т.н., проф. (Самарский университет-НИУ, г. Самара)

КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА МОНТАЖА ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ

Для определения критериев качества монтажа были изготовлены радиоэлектронные узлы — модули первого уровня. Нанесение паяльной пасты производилось на установке печати DEK-248V через трафарет толщиной 0,12 мм. Установка компонентов осуществлялась с использованием манипулятора SM-902 Professional. Оплавление паяльной пасты производили в парофазной печи Asscon VP-6000. Отмывка печатного узла осуществлялась на струйной установке SUPER SWASH III.

Был проведен анализ производственных данных качества монтажа компонентов с «J» — образными выводами. Установлено, что при использовании технологии поверхностного монтажа компонентов на многослойную печатную плату необходимо тщательно соблюдать габаритные требования и требования к галтели припоя. Рекомендуемые требования приведены в таблице 1.

Таблица 1. Требования к габаритам и галтели

Характеристика	**Габарит**	**Приемка**
Максимальное боковое смещение	A	Допускается 25% от (W)
Максимальное торцевое смещение	B	При условии, что не нарушается величина минимального электрического зазора
Минимальная ширина галтели припоя с торца	C	Допускается 75% от (W)
Минимальная длина галтели припоя	D	Допускается 150% от (W)
Максимальная высота галтели припоя	E	Припой не должен касаться корпуса компонента.
Минимальная высота галтели припоя со стороны пяты вывода компонента	F	(G) + (T)
Толщина припоя	G	Должна быть хорошо видна галтель припоя
Толщина выводы	T	Неустановленная величина. Определяется конструкцией
Ширина вывода	W	

Р.В. Концов, инженер; Д.С. Колюх, студент;
рук. В.К. Качанов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

УВЕЛИЧЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА К ШУМУ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ НЕПЛОСКИХ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

При ультразвуковой (УЗ) томографии строительных бетонных конструкций на томограмме присутствуют сигналы, отраженные от совокупности неоднородностей (арматура и заполнитель). Такие сигналы формируют структурный шум (СШ). СШ маскирует полезный сигнал, что приводит ухудшению достоверности и информативности томографии. Другим фактором, влияющим на качество томограмм, является состояние поверхности (наличие трещин и дефектов на поверхности). Все это приводит к уменьшению достоверности результатов УЗ томографии строительных бетонных конструкций.

В докладе рассматривается способ увеличения достоверности томографии, который заключается в том, что сканирование проводится при нескольких положениях антенной решетки (АР) томографа в окрестности контролируемой зоны с последующим вычислением томограмм. Увеличение достоверности томографии достигается за счет вычисления УЗ томограммы по совокупности сигналов, полученных при различном положении АР. При этом необходимо выбрать шаг и траекторию перемещения АР по поверхности объекта контроля исходя из характеристик материала объекта контроля и топологии АР. При контроле неплоских бетонных конструкций предлагается использоваться разработанную в МЭИ АР с адаптивной апертурой.

В докладе приведены примеры увеличения отношения полезного сигнала на УЗ томограмме к сигналам помехи, полученные на фрагменте строительной конструкции в виде колонны. На основе эксперимента анализируется влияния шага перемещения АР на результирующую томограмму, в условиях ограниченного количества парциальных сканирований.

Литература

1. **В.К. Качанов, В.Г. Карташев, И.В. Соколов, Концов Р.В., Л.В. Воронкова, Е.В. Шалимова.** Структурный шум в ультразвуковой дефектоскопии/ — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — 186с.
2. **В.Г. Карташев, В.К. Качанов, И.В. Соколов, Р.В. Концов, А.С. Фадин.** Выбор шага антенной решетки при ультразвуковой томографии материалов с неоднородной структурой. // Дефектоскопия, 2018. №4. С. 3–11.

Е.В. Гарнышова, студ.; рук. Е.В. Измайлова, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

ПРОГРАММА ДЛЯ КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Наличие отложений на поверхности теплообменного оборудования приводит к снижению тепловой производительности, увеличению гидравлического сопротивления, потере топлива и мощности теплообменного оборудования.

Для проведения экспериментальных исследований по контролю материалов и изделий низкочастотными акустическими методами, включая метод свободных колебаний, авторами была создана программа, написанная в среде графического программирования LabVIEW 9.0 [1].

Программа предназначена для регистрации, записи звуковых сигналов, их анализа. Она может применяться для акустической диагностики сосудов, трубопроводов, теплообменного оборудования.

На рис. 1 представлена часть блок-диаграммы программы.

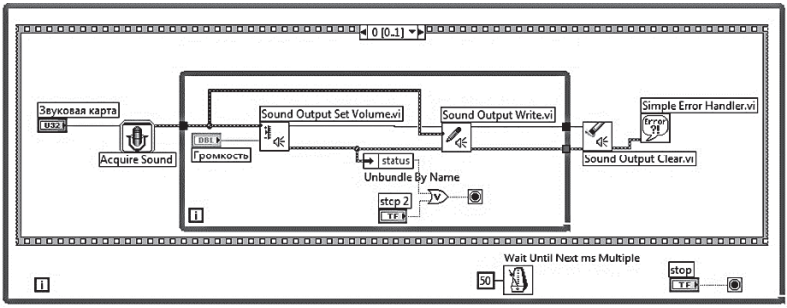


Рис. 1. Часть блок-диаграммы программы

Программа анализа работает следующим образом: считываются сигналы, по каждому сигналу формируется амплитудно-частотный спектр, спектры сравниваются по коэффициентам корреляции, полученные коэффициенты, относящиеся к одной серии экспериментов, усредняются, усредненные коэффициенты сравниваются с границей доверительного интервала.

Негативный эффект от образования отложений можно уменьшить, если контролировать состояние оборудования неразрушающими методами контроля.

Литература

1. **Измайлова Е.В., Ваньков Ю.В., Гарнышова Е.В., Зиганшин Ш.Г., Загретдинов А.Р.** Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019615470 «2RSoundSA». Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26 апреля 2019.

Направление

БЕЗОПАСНОСТЬ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Директор ИнЭИ, к.т.н., доцент А.Ю. Невский

Секция 19.
ИНФОРМАЦИОННАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Председатель секции — Минзов Анатолий Степанович
Секретарь секции — Потехецкий Сергей Владимирович

В.А. Стрижков, студент; рук. П.Б. Хорев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОАКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ МОНИТОРИНГЕ СОБЫТИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SIEM-СИСТЕМ

Применение SIEM-технологий является перспективным направлением в области защиты информации. Основной целью построения и функционирования SIEM-систем, где SIEM означает управление информацией и событиями безопасности, является значительное повышение уровня информационной безопасности в информационной инфраструктуре за счет обеспечения возможности в режиме, близком к реальному времени, манипулировать информацией и осуществлять проактивное управление инцидентами и событиями безопасности [1].

«Проактивный» означает «действующий до того, как ситуация станет критической». Проактивное управление инцидентами и событиями безопасности основывается на автоматических механизмах, которые используют информацию об истории анализируемых событий и прогнозе будущих событий, а также на автоматической подстройке параметров мониторинга событий к текущему состоянию защищаемой системы [2].

Цель работы — это исследование механизмов упреждающего воздействия по предотвращению инцидентов информационной безопасности при их мониторинге в SIEM-системе. Это позволит оценить реальные возможности проактивных методов защиты по предотвращению или снижению возможного ущерба при реализации инцидента.

Вклад в решение данной проблемы видится в выполнении эффективных процедур корреляции событий, поступающих из различных слоев, а также в обеспечении получения данных обо всех потенциальных критических событиях безопасности. Данный подход ориентируется на инфраструктуру, в которой обработка событий безопасности отличается высокой интеллектуальностью, масштабируемостью и многоуровневостью. В этих условиях вероятнее всего реализовать упреждающее управление безопасностью, а также надежный и устойчивый сбор данных о событиях.

Разработка методов применения технологий проактивной защиты, в SIEM-системе является актуальной научной задачей, определяющей новые направления исследований в области информационной безопасности.

Литература

1. **Miller D.R., Harris Sh., Harper A.A., VanDyke S.** Security Information and Event Management (SIEM) Implementation. McGraw — Hill Companies. 2011. 430 p.
2. **Котенко И.В., Воронцов В.В., Чечулин А.А., Уланов А.В.** Проактивные механизмы защиты от сетевых червей: подход, реализация и результаты экспериментов // Информационные технологии, №1, 2009. С. 37–42.

П.А. Иванов, студент; рук. И.В. Капгер, к.т.н., доц. (МЭИ, Москва)

РАЗРАБОТКА СПОСОБА МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ IOT-УСТРОЙСТВ НА БАЗЕ MQTT-БРОКЕРА

Согласно исследованию «IoT Signals» 97% опрошенных организаций беспокоит безопасность систем Интернета вещей [1]. Отслеживание состояния устройств Интернета вещей и их управление признано одной из наиболее перспективных превентивных мер, поскольку даже минимальный мониторинг позволит выявлять существующие проблемы и нарушения ИБ, устранение которых позволит повысить уровень безопасности IoT-сети.

В настоящее время широкое распространение получил протокол MQTT, который де-факто является основой построения IoT-систем [2]. Целью исследования является разработка способа мониторинга безопасности IoT-устройств, который позволит получать данные по протоколу MQTT непосредственно от сенсоров, проводить синтаксический анализ поступающих данных и выделять среди них те данные, которые относятся к инцидентам и событиям безопасности.

Исследование заключается в анализе взаимодействия IoT-устройств и существующих способов их мониторинга, выделении ряда признаков проявления угроз, характерных для IoT-инфраструктуры, и разработке способа мониторинга безопасности, основанного на концепции MQTT-брокеров и функционирующего по принципу «очередей сообщений».

Способ мониторинга устройств Интернета вещей характеризуется сбором данных «брокером безопасности» в рамках передачи «издатель-подписчик» с использованием протокола MQTT. Способ также характеризуется получением и обработкой данных мониторинга во времени, близком к реальному, и возможностью реализации мониторинга устройств, которые не могут быть подключены к системе мониторинга посредством агентов.

По результатам исследования будет реализовано аппаратное устройство на базе одноплатного компьютера, осуществляющее сбор, агрегацию и корреляцию событий безопасности, полученных от IoT-устройств.

Литература

1. IoT Signals Report // [Электронный ресурс]. URL: https://azure.microsoft.com/ru-ru/resources/iot-signals/ (дата обращения: 18.10.2019).
2. Платформа ARM и брокер MQTT, как современная основа решений для Интернета вещей // [Электронный ресурс]. URL: https://m.habr.com/ru/company/unet/blog/407867/ (дата обращения: 19.10.2019).

С.С. Слободенюк, студ.; рук. А.Ю. Невский, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ДОВЕРИЯ К ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОДХОДА «ОБЩИХ КРИТЕРИЕВ»

Интенсивное развитие информационных технологий привело к созданию новых передовых технологий управления информацией на основе блокчейн (пиринговых систем). Блокчейн (или цепочка блоков) представляет собой распределенную базу данных, у которой устройства хранения данных не подключены к общему серверу. Такая база данных хранит непрерывно растущий список упорядоченных записей, так называемых блоков, сгенерированных таким образом, что несанкционированная их модификация или удаление практически невозможно. Это позволило автоматизировать решение задач по управлению криптовалютой, Smart-контрактами и другими процессами без участия третьих сторон.

Однако при этом возникает задача оценки уровня доверия к этим системам. Отсюда целью работы является применение подхода «Общих критериев» к оценке приложений, работающих на базе технологии блокчейн. Данный метод позволяет обеспечить условия, в которых процесс описания, разработки и проверки продукта информационных технологий будет сопровождаться определением уровня доверия с применением известного подхода «Общих критериев».

Таким образом, в процессе исследования необходимо будет разработать дополнительный класс (классы) компонент безопасности, специально для приложений на основе данной технологии.

Планируемым результатом исследования является создание совокупности требований безопасности, имеющей название в терминологии «Общих критериев» — профиль защиты [1]. Он будет описывать основные механизмы подхода «Общих критериев», используемые для определения уровня доверия к продуктам на основе технологии блокчейн. К их числу относится криптовалюта — разновидность виртуальной валюты, трансакции которой фиксируются с помощью технологии блокчейн, Smart-контракты, т.е., соглашения, которые хранят в блокчейне условия договора и автоматически исполняют его при соблюдении этих условий, а также модель целостности информации в длительном периоде времени (много большем, чем время жизни человека).

Литература

1. ГОСТ Р. ИСО/МЭК 15408–2013. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий //М.: Издательство стандартов. — 2013.

Сикан А.А., студентка; рук. Баронов О.Р., к.т.н., доц. (НИУ МЭИ, Москва)

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИТЫ КОММЕРЧЕСКОЙ ТАЙНЫ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Распределенные корпоративные информационные системы на сегодняшний момент незаменимы для ведения бизнеса и управления организациями. В настоящее время отсутствуют нормативно-правовые документы по обеспечению защиты коммерческой тайны в распределенных корпоративных системах. От сюда возникают проблемы по защите информации и управлению организацией и ведению бизнеса. В связи с этим тема работы является актуальной.

Цель работы заключается в обосновании технологии защиты создания распределенной корпоративной информационной системы с позиции защиты коммерческой тайны.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) Анализ нормативной документации по организации защиты коммерческой тайны в корпоративной информационной системе.

2) Разработка типовой модели реализации корпоративной информационной системы.

3) Методика организации защиты коммерческой тайны в корпоративной информационной системе.

4) Моделирование безопасности в распределенной корпоративной информационной системе.

По результатам выполненной работы ожидается получить разработанную типовую модель реализации корпоративной системы, методику защиты коммерческой тайны в КИС, а также моделирование безопасности в КИС на основе анализа нормативной документации [1] по организации защиты коммерческой тайны в КИС.

Литература

1. Федеральный закон «О коммерческой тайне» от 29.07.2004 N 98-ФЗ (последняя редакция).

А.С. Ерохина, студ., рук. А.Ю. Невский, к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

МЕТОДИКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РОЛЕЙ ПЕРСОНАЛА СЛУЖБ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Каждая организация имеет в своем составе службу информационной безопасности. Это подразделение является важной составляющей любой организации, так как риск утечки защищаемой информации всегда присутствует.

Правильный подбор персонала и разумное разделение обязанностей является важным фактором для оптимизации работы организации. Ролевое распределение строится на определенных критериях:

- Функциональное распределение;
- Взаимозаменяемость персонала;
- Определение трудоемкости;
- Обеспечение системы контроля;
- Делегирование полномочий;
- Определение функций каждого сотрудника службы.

Отсюда целью работы является создание научно-методического обеспечения по данным критериям управления персоналом службы информационной безопасности, обеспечивающей непрерывные бизнес процессы, наращивание усилий информационной безопасности и повышение эффективности системы безопасности в целом.

Повышение угроз информационной безопасности поставило задачу улучшения работы персонала и для ее достижения необходимо проанализировать распределение функций по выделенным критериям, квалификацию и количество сотрудников службы информационной безопасности.

Результатами работы предполагается готовая методика распределения ролей персонала службы информационной безопасности, которую можно использовать практически при любых условиях. Также, должны быть подробно рассмотрены ситуации при сокращении или увеличении организации и разработана стратегия действий в этих случаях.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001–2006 «Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности»;
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002–2012 «Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Свод норм и правил менеджмента информационной безопасности»;
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005–2010 «Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности».

С.А. Минзов, студент; рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

УПРАВЛЕНИЕ СОБЫТИЯМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В SIEM-СИСТЕМАХ

Основная задача SIEM системы — анализировать регистрируемые в защищаемой инфраструктуре события, поступающие от различных источников, и обнаруживать атаки/сценарии атак/подозрительные действия/отклонения от нормы, формируя при необходимости соответствующие инциденты безопасности [1,2].

В настоящей работе будет рассмотрена разработка сценариев генерации событий информационной безопасности.

В основе классификации событий будет заложена матрица атак на компьютерные системы MITRE ATT&CK. MITRE ATT&CK — база знаний с описанием тактик, техник и процедур атак злоумышленников. Классические SIEM-системы не способны выявлять атаки злоумышленников, в которых используются эксплойты нулевого дня, поэтому их целесообразнее ловить на последующих этапах атаки.

Классическим шагом злоумышленников является выполнение вредоносного кода и попытки обхода средств защиты для успешного достижения своих целей. Поэтому в первую очередь это тактики «Выполнение» и «Обход защиты» по модели MITRE ATT&CK. Как правило, эти тактики используются на этапах проникновения злоумышленника в инфраструктуру.

Правила корреляции, среди прочего, выявляют техники с применением метода living off the land (LOTL): когда злоумышленники для атаки используют легитимные инструменты, которые уже присутствуют в атакуемой системе. Такой метод все чаще используют APT-группировки; например, группировки Cobalt Group и MuddyWater использовали встроенную в Windows утилиту «Установщик профилей диспетчера подключений» для запуска вредоносного ПО. Метод LOTL позволяет действовать под видом легитимной работы системного администратора, что снижает вероятность обнаружения атаки традиционными средствами безопасности и, следовательно, ее блокировки.

Литература

1. «Применение технологии управления информацией и событиями безопасности для защиты информации в критически важных инфраструктурах» / 2012 год коллектив исследователей лаборатории проблем компьютерной безопасности СПИИРАН (И.В. Котенко, И.Б. Саенко, О.В. Полубелова, А.А. Чечулин).
2. «Security Information and Event Management (SIEM) Implementation» / Дэвид Миллер, Шон Харрис и др. Издание 2011 года.

А.В. Толмачев, студ.; рук. С.С. Рыжиков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА УРОВНЯ ПЭМИ ДЛЯ СТАНЦИОНАРНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Большая часть информации обрабатывается посредством персональных компьютеров и других различных технических средств (ТС). Из-за того, что сведения могут содержать различные данные, круг лиц, желающих заполучить ту или иную информацию нелегальным путем, меняется в соответствии с ценностью информации [1].

Одним из направлений обеспечения информационной безопасности объектов информатизации (ОИ) является защита конфиденциальной информации от утечки по каналам побочных электромагнитных излучений (ПЭМИ) [2].

Данная работа предусматривает расчет специального показателя — зоны R2, т.е. требуемого радиуса вокруг средств вычислительной техники (СВТ), где с помощью специализированного разведывательного приемника возможен перехват ПЭМИ от СВТ и последующая расшифровка содержащихся в них конфиденциальной информации, т. е. зона, в которой отношение информационный сигнал/помеха превышает нормированное значение [3]. При этом в работе мы будем использовать средства пассивной защиты, и рассматривать зависимость зоны R2 от типа интерфейса, длины кабеля, а так же контрастности и цветовой гаммы монитора.

Таким образом, исследование заключается в сравнение интерфейсов при разной длине провода и использовании специальных световых спектров, а также выборе минимальной зоны R2, для каждого из представленных интерфейсов (VGA, DVI, HDMI).

Проделанная робота позволит создать рекомендации требований безопасности для защиты конфиденциальной информации от утечки по каналам побочных электромагнитных излучений (ПЭМИ) за счет использования пассивных методов защиты.

Литература

1. **Хорев А.А.** Техническая защита информации: учеб. пособие для студентов вузов. В 3 т. Т. 1. Технические каналы утечки информации. — М.: НПЦ «Аналитика», 2008. — 436 с.: ил.
2. Временная методика оценки защищенности основных технических средств и систем, предназначенных для обработки, хранения и/или передачи по линиям связи конфиденциальной информации
3. **Титов А.А**. Технические средства защиты информации: учеб. Пособие для студентов вузов. 2010. — 194 с.: ил.

А.А. Кондурков, студент; рук. П.Б. Хорев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБУЧЕНИЯ АДМИНИСТРИРОВАНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Подготовка специалистов в области компьютерной безопасности (КБ), ведется в рамках государственных стандартов, в которых определены требуемые для освоения знаний дисциплины и сформулирован набор необходимых компетенций, которыми должен обладать специалист по окончанию курса обучения [1]. Однако, с обнаружением новых угроз безопасности и развитием информационных технологий все сложнее становится собирать и преподносить образовательный материал для формирования компетенций специалистов по КБ. Поэтому, требуются новые подходы, позволяющие преподносить актуальный материал, с точки зрения КБ [1].

Цель работы: на основе изучения задач администрирования и анализа средств безопасности операционных систем (ОС), разработать научно- методическое обеспечения для обучения администраторов безопасности ОС методам и технологиям защиты ОС встроенными средствами защиты. Для реализации данной цели потребуется создание общего алгоритма последовательности действий по настройке средств защиты и обеспечению безопасности ОС.

Использование разработанных алгоритмов позволяет студентам, администраторам безопасности и другим пользователям, обеспечить надежную защиту на любом рабочем месте.

При разработке алгоритма последовательности действий по настройке средств защиты и обеспечению безопасности ОС проводился анализ двух операционных систем: операционная система MicroSoft Windows 10, а так же операционная система специального назначения Astra Linux [2]. В данных операционных системах были рассмотрены: компоненты безопасности, конфигурации и настройки, а так же основные задачи администрирования на этих операционных системах [2].

Это позволило создать общий алгоритм последовательности действий для обеспечения безопасности операционных систем, который можно использовать для создания лабораторного практикума и включение его в программу учебной дисциплины «Администрирование операционных систем» для подготовки специалистов по направлению «Информационная безопасность» в высших учебных заведениях.

Литература

1. **Томас А. Лимончелли, Кристина Хоган.** «Системное и сетевое администрирование. Практическое руководство»
2. **William Stalling.** «Operating Systems: Internals and Design Principles»

И.В. Сергиенко, студент; рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗРАБОТКА ОПИСАТЕЛЬНЫХ ВАРИАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

После принятия федерального закона №187 «О безопасности критической информационной инфраструктуры российской федерации» появилась потребность в специалистах, которые были бы компетентны в вопросах обеспечения безопасности таких объектов.

Цель исследования — на основе анализа исходных данных о различных значимых объектах критической информационной инфраструктуры предложить их описательные вариативные модели для дальнейшего изучения принципов, технологий построения систем защиты для таких объектов. Реализация этой цели потребует непосредственную разработку описательных моделей объектов критической информационной инфраструктуры, а также обеспечение их достаточности и полноты. Таким образом применение разработанных моделей позволит более подробно обучить студентов на конкретных примерах. После чего результаты работы могут быть использованы ими для разработки своих выпускных квалификационных работ. Для выполнения работы был выбран субъект КИИ, который согласно ФЗ №187 попадает под экономическую значимость финансового сектора деятельности — банк.

Для разработки описательных вариативных моделей были приведены: анализ защищенности субъекта критической информационной инфраструктуры, исходные данные, необходимые для проектирования систем защиты информации. В результате чего были получены субъект КИИ, модель угроз и уязвимостей, а также разработан перечень требований по защите выбранного КИИ. В дальнейшем планируется непосредственная разработка моделей объектов КИИ, которая включит в себя разработку рекомендаций по проектированию систем защиты информации на моделях значимых объектов критической информационной инфраструктуры и оценку применимости моделей для проектирования систем защиты информации.

В результате это позволит разработать проекты вариантов заданий для процесса обучения студентов технологиям проектирования систем защиты информации значимых объектов критической информационной инфраструктуры.

Литература

1. ФЗ №187 «О безопасности критической информационной инфраструктуры российской федерации»

П.А. Макаров, студ.; рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБУЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЯМ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОТ КИБЕРАТАК В ФОРМАТЕ «ATTACK-DEFENSE»

Кибератаки могут принести огромные убытки владельцам информационных систем вплоть до невозможности реализации бизнес-процессов [1]. Этому способствует развитие открытого программного обеспечения [2]. Оно даёт более новые и мощные аналитические инструменты по диагностике и проведению атак. Поэтому данная сфера нуждается в разработке научно-методического обеспечения обучения технологиям, которые могут включать как открытые, так и закрытое инструменты.

Для этого ставятся задачи анализа текущих уязвимостей, средств злоумышленника и технологий проведения атак, а также возможностей и средств их предотвращения. Это позволит повысить эффективность учебного процесса, улучшить защиту информационных систем, а также повысить репутацию организации.

Исследование заключается в создании научно-методических материалов обучения использования баз данных уязвимостей, изучения инструментария злоумышленника, включающего в себя программные комплексы с готовыми эксплойтами, обучения технологиям и противодействию атакам на корпоративные информационные системы, атакам на веб-приложения, атакам с использованием вредоносного программного обеспечения, атакам, вызывающим отказ в обслуживании, атакам, связанными с социальной инженерией.

Для повышения эффективности обучения будет использоваться формат «attack-defense», что позволит понять сценарий и используемые средства, а также минимально необходимую информацию о системе для проведения кибератаки. Благодаря этому во время обучения станут понятны все уязвимые места, которые нуждаются в защите, для каждого из типов кибератак.

Чтобы исключить возможность распространения атаки на сеть организации, лабораторные работы будут проводиться в виртуальной среде. Виртуальные машины будут соединены виртуальным сетевым адаптером.

Литература

1. **Бирюков А.А.** Информационная безопасность: защита и нападение. М.: ДМК Пресс, 2017.
2. **Шаньгин В.Ф.** Информационная безопасность компьютерных систем и сетей. М.: ФОРУМ, 2008.

А.А. Геттингер, студентка; рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц.(НИУ МЭИ, Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СТЕНДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСА «ЭКОФИЗИКА-110А»

Целью настоящей работы является разработка математической модели оценки защитных свойств многослойных композитных материалов.

Исходные данные для разработки математической модели:

Коэффициент звукоизоляцции — рассчитывается по формуле (1):

$$Q = L_{c1} - L_{c2}, \quad (1)$$

где L_{c1} — уровень тестового сигнала перед ограждающей конструкцией;

L_{c2} — уровень тестового сигнала за пределами ограждающей конструкцией; [2]

Коэффициент звукопоглощения — рассчитывается по формуле (2):

$$K_{or} = 20lg\,(q_{or}f) — 47{,}5\ (дБ), \quad (2)$$

где q_{or} — масса 1 м^2 ограждения, кг, f — частота звука, Гц. [1]

Плотность материала;

Количество промежуточных слоев.

Все исследования проводятся по разработанной методике работы с лабораторным стендом по исследованию защитных свойств композитных материалов от утечки по акустическому и виброакустическому каналам.

Результат проведенных исследований — разработанная математическая модель оценки защитных свойств многослойных композитных материалов (3).

$$f\,(m, k, p, n), \quad (3)$$

где m — коэффициент звукоизоляции;

k — коэффициент звукопоглощения;

p — плотность материала;

n — количество промежуточных слоев.

Полученные результаты могут использоваться департаментами информационной безопасности организаций для создания пассивной защиты помещений от утечки информации по техническим каналам.

Литература

1. **Бузов Г.А.** Защита информации ограниченного доступа от утечки по техническим каналам. М.: ООО «Издательство Машиностроение», 2017–589с.
2. **Хорев А.А.** Технические каналы утечки акустической (речевой) информации//Специальная техника. — М.: 2009. — №5 — С. 12–26.

А.А. Геттингер, студентка; рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф.(НИУ МЭИ, Москва)

НОВЫЙ ПОДХОД К ИНТЕРПРЕТАЦИИ ТЕРМИНА AWARENESS

Слово «awareness» с английского переводится как «осведомленность», «осознание», «информированность», «понимание».

Впервые упоминание термина «awareness» появилось в специальной публикации NIST 800-16-1998 Information Technology Security Training Requirements: A Role- and Performance-Based Model и определялось как «создание чувствительности к угрозам и уязвимостям компьютерных систем и признание необходимости защиты данных, информации и средств их обработки». [1]

Из-за некорректного перевода самого слова «awareness» — «осведомленность», российское законодательство относительно вопросов осознания в области информационной безопасности (далее — ИБ), в отличии от зарубежной практики, представлено в виде требований и без конкретики. В них отмечается, что в рамках системы менеджмента информационной безопасности должно проводиться повышение осведомленности и обучение персонала в области ИБ.

Процесс обучения персонала подразумевает использование определенных методов обучения, а также формирования определенной модели культуры, этики и поведения. [2] В рамках настоящей модели формируются индивидуальные модели поведения в организации: организационная этика; личная этика; индивидуальные модели поведения, (склонность к риску, к следованию политикам, отношение к негативным результатам).

В создание и поддержку такой модели в рамках обучения персонала по вопросам в области ИБ входят:

- Информированность всех сотрудников (инструктажи по вопросам ИБ);
- Осознание желаемой модели поведения (изучение материалов, касающихся обеспечения ИБ, повышение уровня знаний персонала);
- Проектирование поведения (контроль за действиями сотрудников, выявление нарушений).

Литература

1. NIST SP 800–50 «Building an Information Technology Security Awareness and Training Program»;
2. COBIT 5: Бизнес-модель по руководству и управлению ИТ на предприятии.

Ю.П. Тарасова студ.; рук. С.С. Рыжиков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПО ПОИСКУ ТЕХНИЧЕСКИХ КАНАЛОВ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫМ КОМПЛЕКСОМ СПРУТ-СР

Речевая информация, обрабатываемая в защищаемых помещениях, как правило, занимает больший объем от общего процента защищаемой информации и является наиболее уязвимой для перехвата при отсутствии эргономично настроенных пассивных и активных средств защиты путем непреднамеренного прослушивания посторонними лицами или путем применения специальных средств перехвата информации.

Существуют различные обучающие материалы по поиску акустического и виброакустического каналов утечки информации с помощью программно-аппаратных комплексов. При этом в общем доступе не существует методик по использованию программно-аппаратного комплекса СПРУТ-СР, выбранный для исследования по причине того, что он проводит измерения одновременно для всех заданных октавных полос, что значительно ускоряет процесс измерений.

Целью проекта является разработка научно-методического обеспечения по исследованию влияния изменения параметров входного акустического сигнала на точность обнаружения технических каналов утечки информации, повышение порога чувствительности шумомера для более точных результатов при поиске акустического и виброакустического каналов утечки информации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) Определить методы и способы выделения частотного диапазона измерений при повышении чувствительности шумомера и сопоставления частот измерений и частотного диапазона входного акустического сигнала.

2) Проверить гипотезу о влиянии изменений характеристик измерений на точность определения выходного акустического сигнала и виброускорения.

Для повышения эффективности и точности обнаружения технических каналов утечки информации будет исследоваться влияние изменений основных параметров воздействующего (потенциального скомпрометированного) акустического сигнала, таких как частота и амплитуда, на погрешности при измерениях выходного акустического сигнала и виброускорения.

А.К. Бенев, студ.; рук. И.В. Писаренко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫЯВЛЕНИЯ И ПРОВЕДЕНИЯ РАССЛЕДОВАНИЯ ИНЦИДЕНТОВ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ

Инцидент ИБ (ИИБ) — событие ИБ или их комбинация, указывающие на свершившуюся, предпринимаемую или вероятную реализацию угрозы ИБ [1]. Последствиями ИИБ могут быть несанкционированные раскрытие или изменение информации, уничтожение или другие события, которые делают ее недоступной, нанесение ущерба активам организации или их хищение [2]. Внедряющиеся в корпоративные информационные системы (КИС) DLP-системы можно использовать не только для контроля «цифрового» периметра, но и для расследования ИИБ, так как они являются базой данных по событиям ИБ. Отсюда возникает необходимость разработать методику, которая будет использовать возможности DLP-систем для ускорения и упрощения процесса расследования ИИБ.

Цель исследования заключается в создании методики, которую можно использовать для выявления инцидентов утечки информации и их дальнейшего расследования. Методика должна учитывать особенности каналов утечки информации (КУИ), виды, мотивы и возможности нарушителей.

Для того, чтобы разработать методику необходимо решить ряд задач:

провести анализ законодательной базы в области расследования ИИБ;

обосновать разработку методики выявления и проведения расследования инцидентов утечки информации

определить основные КУИ, типы нарушителей, мотивы и возможности;

определить возможности DLP-системы SearchInform для расследования инцидентов и как их применять.

Разработанная методика позволит проводить оперативное расследование ИИБ собственными силами в условиях сокращённого времени. Разработанную методику можно будет применять как для выявления и расследования ИИБ, так и в учебном процессе.

Литература

1. **РС БР ИББС-2.5–2014** «Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Менеджмент инцидентов информационной безопасности»
2. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 18044–2007** «Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент инцидентов информационной безопасности».

К.А. Алексеенко, студ.; рук. С.С. Рыжиков, к.т.н, (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЛИЯНИЯ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ НА ПОБОЧНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ В ПЭВМ

Появление современной высокочувствительной контрольно-измерительной аппаратуры для обнаружения и регистрации ПЭМИН вызывает необходимость проведения исследований механизмов утечки защищаемой информации по каналу побочных электромагнитных излучений. Результатами таких исследований может стать обнаружение ранее не известных способов «получения» защищаемой информации, связанных с регистрацией и последующей обработкой (преобразованием или декодированием) информативных сигналов, являющимися побочными электромагнитными излучениями от персональных электронно-вычислительных машин.

Наиболее вероятными источниками побочных электромагнитных излучений могут быть информативные сигналы, модулируемые работой определенных программных приложений, которые имеют возможность распространения на значительно большие расстояния (нежели т.н. «стандартные» побочные электромагнитные излучения, исходящие от компонентов персональных электронно-вычислительных машин и имеющие, в большинстве своем, более или менее «стандартный» вид).

Обнаружение таких сигналов требует применения специальной контрольно-измерительной аппаратуры, а также экспериментальных методов, поскольку образуемый канал утечки информации является «скрытым» и достаточно трудно поддается обнаружению, что может создать условия для реализации утечки защищаемой информации.

Данная работа предусматривает проверку гипотетических сведений о возможности регистрации «мягкого» ПЭМИ (Soft-Tempest) от ПЭВМ на большем расстоянии, чем стандартный «жесткий» ПЭМИ. Также работа позволит сформулировать некоторые рекомендации по технической защите конфиденциальной информации от утечки по каналу побочных электромагнитных излучений (ПЭМИ).

Литература

1. **ГОСТ Р 53112–2008.** Комплексы для измерений параметров побочных электромагнитных излучений и наводок.
2. **ГОСТ Р 51724–2001.** Поле гипогеомагнитное методы измерений и оценки соответствия уровней полей техническим требованиям и гигиеническим нормативам.

М.Д. Архипов, студ.; рук. С.В. Попов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЛУЧШИХ ПРАКТИК ПРОВЕДЕНИЯ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ФИНАСОВО-КРЕДИТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Аудит информационной безопасности является обязательным элементом получения полной объективной оценки защищенности ИС, который позволяет выявить актуальные проблемы и обеспечить разработку эффективной программы для улучшения системы обеспечения информационной безопасности в организации.

В соответствии с требованиями Банка России и стандарта PSI DSS [1] необходимо ежегодно проводить тестирование на проникновение. Кредитные организации должны обеспечить ежегодное тестирование на проникновение и анализ уязвимостей информационной безопасности объектов информационной инфраструктуры [2].

В результате проведения теста на проникновение, проверяются способности ИС противостоять попыткам проникновения в сеть и несанкционированного воздействия на информацию, а также возможности ИС противостоянию угрозам и их нейтрализации.

Главной проблемой проведения тестирования на проникновение является то, что в стандартах не описаны методики их проведения. При тестировании на проникновение возможен исход того, что данная ИС потеряет работоспособность, что гарантирует большие убытки организации.

Исследование заключается в анализе лучших современных практик проведения аудита информационных систем в финансово-кредитных организациях, для составления методики проведения теста на проникновение, направленной на оценку уровня защищенности для технических средств, на уровне которых проводится данное тестирование.

Результатами работы является методика проведения теста на проникновение с исключением рисков нарушения работоспособности ИС организации.

Литература:

1. **Payment Card Industry Data Security Standard**. Стандарт безопасности данных индустрии платежных карт.
2. **Положение БР №683-П**. «Об установлении обязательных для кредитных организаций требований к обеспечению защиты информации при осуществлении банковской деятельности в целях противодействия осуществлению переводов денежных средств без согласия клиента».

И.В. Ландырев, студент; рук. И.В. Писаренко, к.т.н. доцент (НИУ «МЭИ»)

РЕАГИРОВАНИЕ НА ИНЦИДЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В БАНКОВСКОЙ СФЕРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАТФОРМЫ SECURITY VISION

Современные компании все чаще сталкиваются с необходимостью создания в организации управляемого сервиса информационной безопасности с целью уменьшения влияния человеческого фактора и повышения прозрачности, приведения разрозненных процессов информационной безопасности в разряд управляемых, что является одной из поставленных задач. Для своевременного реагирования на инциденты информационной безопасности, существует потребность в адаптивной системе, способной осуществлять сбор, концентрацию и обогащение информации, поступающей из сторонних подсистем, которая бы связывала процессы управления командой SOC и обладала возможностью автоматизации функций по реагированию на инциденты. [1]

Цель настоящего исследования, на основе существующих методов реагирования на инциденты информационной безопасности — автоматизация процессов реагирования на инциденты информационной безопасности и автоматизация управления информационной безопасностью в банковской сфере.

Исследование будет предполагать автоматизацию части процессов расследования инцидентов информационной безопасности в банковских системах, создание автоматического сбора информации по событию для насыщения карточки инцидента и автоматизацию процедур управления инцидентами информационной безопасности на основе использования программной платформы Security Vision. Будет разработан процесс реагирования аналитиком на инцидент и показан процесс реагирования.

Результаты исследований могут быть использованы для управления инцидентами информационной безопасности и автоматизации процессов реагирования на инциденты информационной безопасности.

Задачей, решаемой в рамках данной работы, является: создание процесса реагирования на инциденты информационной безопасности в банковской сферы с использованием платформы управления и реагирования на инциденты.

Литература

1. **Helko Löhr** Глава отдела противодействия киберпреступлениям. Защита критической инфраструктуры с точки зрения правоохранительных органов., Group-IB Hi-Tech Crime Trends 2018–11.10.2018

С.А. Макаров, студент; рук. А.Ю. Невский к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБУЧЕНИЯ МЕТОДАМ И ТЕХНОЛОГИЯМ АДМИНИСТРИРОВАНИЯ СЕТЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В настоящее время по результатам анализа экспертов информационной безопасности главной проблемой выступают уязвимости, большая часть которых возникает в процессе настройки сетевого оборудования, что свидетельствует о недостаточном уровне подготовки администраторов безопасности [1]. Отсюда возникает и цель настоящей работы: разработка комплекса научно-методических материалов для обеспечения учебного процесса технологиями развертывания, администрирования и контроля корпоративных информационных сетей.

В процессе работы будут решены следующие задачи:

1) Проведения анализа требований профессиональных и образовательных стандартов по содержанию трудовых функций профессиональных компетенций при развертывании, администрировании и контроле корпоративных информационных сетей.

2) Разработки научно-методического обеспечения по обучению технологиям развертывания, администрирования и контроля корпоративных информационных сетей. Моделирование оборудования информационной сети компании будет проводиться в многофункциональной виртуальной среде EVE NG.

3) Создания комплекса лабораторных работ направленных на приобретение навыков настройки, администрирования и обеспечения отказоустойчивости в процессе функционирования сетевого оборудования.

4) Разработки механизмов автоматизированной оценки работы, выполненной студентами.

Данный комплекс может быть включен в программу подготовки «10.03.01 Информационная безопасность», для обеспечения учебного процесса освоения методов и технологий администрирования сетевого оборудования в рамках дисциплины «Сети и системы передачи информации» и позволит обучить полному циклу работ, связанных с развертыванием, администрированием и контролем корпоративной информационной сети.

Литература

1. Годовой отчет по информационной безопасности Cisco 2018 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.cisco.com/c/dam/global/ru_ru/assets/offers/assets/cisco_2018_acr_ru. pdf

Б.Ю. Сурин, студент; рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРЕБОВАНИЯМ МЕЖДУНАРОДНОГО СТАНДАРТА ISO/IEC 27001:2013

Обеспечение защиты организации должна осуществляться путем реализации соответствующего набора средств управления, включая политику, процессы, процедуры, организационную структуру, программные и аппаратные функции.

Эти элементы управления необходимо создать, внедрить, контролировать, анализировать и улучшать.

Для построения и эффективной эксплуатации СМИБ необходимо выявить требования защиты информации, специфические для организации как объекта защиты. В первую очередь следует учесть требования российского законодательства, определить подразделения, ответственные за реализацию и поддержку СМИБ, распределить области ответственности и выполнить ряд других задач.

Основным этапом при построении системы менеджмента информационной безопасности (СМИБ) является оценка соответствия текущего состояния СМИБ организации.

Обеспечение грамотного подхода к проведению оценки соответствия позволить избежать ряд негативных факторов, а также позволит выявить и систематизировать процессы, которые определят направления работ по внедрению СМИБ.

Целями проведения работ по обследованию является оценка текущего состояния СМИБ организации и подготовка организации к построению СМИБ в соответствии с требованиями стандарта ISO/IEC 27001:2013.

Достижение указанных целей обеспечивается выполнением задач:

Определение области обследования;

Интервьюирование структурных подразделений и должностных лиц;

Обследование помещений;

Анализ документации и прочих документальных свидетельств;

Заключение о степени выполнения требований стандарта;

Основные рекомендации по достижению соответствия требованиям.

Результатом работы будет являться форма отчета, содержащая описание результатов и механизм оценки ее соответствия.

Литература

1. **ISO/IEC 27001:2013.** Information technology — Security techniques — Information security management systems — Requirements, 2013.

К.В. Вахлаков, студент; рук. А.Ю. Невский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ

Существующие концепции создания системы информационной безопасности для информации ограниченного доступа предполагают методики для разных видов конфиденциальной информации. Это создает определенные трудности проектирования систем информационной безопасности особенно, когда одновременно используются различные виды конфиденциальной информации. Это определяет и цель исследования:

Обосновать единую методику создания систем информационной безопасности, позволяющую обрабатывать конфиденциальную информацию, относящуюся к различным видам тайн, таким как персональные данные, коммерческая тайна, информация в государственных информационных системах. Для реализации этого проекта необходимо:

1) Определить в какой степени различаются требования защиты информации, как внутри отдельно взятого вида информации, так и между различными видами тайн.

2) Определить, как распределяется оценка эффективности требований к защите информации, в сравнении между разными классами защиты различных видов тайн.

3) Определить, как вычисляется эффективный класс защиты для конкретного вида информации ограниченного доступа, на основании того, какие потери возможны в том или ином случае.

Для завершения проекта будет построена имитационная модель объекта информатизации. Для данной модели необходимо будет выстроить различные системы защиты данных. А затем начать имитацию различных кибератак на данный объект. Таким образом, выстраивая различные системы защиты, и имитируя кибератаки мы получим среднее процентное значение эффективности того или иного средства обеспечения информационной защиты. Благодаря этому, мы сможем обосновать необходимость его применения в той или иной системе защиты данных.

Результатом данного проекта может стать: сокращение трудоемкости по обеспечению защиты информации информационных объектов, помощь в упрощении способов подготовки персонала подразделений по информационной безопасности, а так же реализация проекта позволит принимать универсальные решения в отношении других видов тайн.

Литература

1. Приказы ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. №17, от 18 февраля 2013 г. №21, от 14 марта 2014 г. №31: [Электронный ресурс]. URL: https://fstec.ru/.

Т.Г. Гегечкори, студентка; рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф.(НИУ «МЭИ», Москва)

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ЕДИНОЙ МЕТОДОЛОГИИ ГАРАНТИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТАЙН

В соответствии с требованиями ФСТЭК защита информации ограниченного доступа относящаяся к персональным данным (ПДН), служебной тайне (СТ) и информации критических информационных инфраструктур (КИИ) отличается по способу классификации защищенности информационных систем (ИС), количеству классов (3 или 4) и содержанием мер защиты информации в ИС для каждого класса защищенности. Это создает проблемы в унификации применяемых мер защиты для каждого класса защищенности ИС, содержащих разную информацию. Еще больше проблем возникает с защитой коммерческой тайны (КТ), где методика классификации уровня защищенности не определена. Сегодня вообще не определены механизмы защиты других видов тайн: медицинской, страховой, наследования, усыновления и т.д. В этих тайнах, как правило, присутствует личная и семейные тайны, ПДН и другая чувствительная информация.

Отсюда воникает необходимость создания единой методологии защиты информации ограниченного доступа, относящейся к ПДН, СТ, КТ, КИИ и другой чувствительной информации.

Решение этой задачи возможно следующими путями:

1) Обоснование единой системы классификации мер защиты для различной информации ограниченного доступа. Это может быть проведено путем анализа и сопоставления мер защиты информации как для различных классов, так и для разной защищаемой информации.

2) Разработка единой модели классификации степени защищенности различных информационных систем с информацией ограниченного доступа. Здесь могут быть использованы методы, основанные на определении рисков информационной безопасности.

3) Настройка параметров единой модели классификации степени защищенности ИС под существующие требования по защите информации ограниченного доступа.

4) Верификация результатов применения единой модели классификации степени защищенности ИС.

Литература

1. Акты (приказы и другие акты) ФСТЭК [Электронный ресурс], URL: https://fstec.ru/normotvorcheskaya/akty/53-prikazy, (дата обращения: 1.12.2019).

Д.М. Страхов, студент; рук. А.Ю. Невский, к.т.н., проф.(НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЕДИНОЙ МЕТОДОЛОГИИ ГАРАНТИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТАЙН

Документы, регулирующие в настоящий момент обеспечение информационной безопасности для разных видов тайн имеют различные концепции создания систем защиты информации. Этот создает определенные методические трудности в реализации систем защиты информации. Кроме того, в настоящее время отсутствуют четко сформулированные требования, по защите информационных систем, содержащих в себе несколько различных видов тайн, например, персональные данные, коммерческую и служебную тайны.

Таким образом, цель данного исследования заключается в создании единой методологии, позволяющей упростить создание систем информационной безопасности для информационных систем, содержащей одновременно несколько разновидностей тайн.

Данную цель можно реализовать при помощи нескольких различных методических подходов.

1) Путем выбора базовой модели защиты с минимальным классом защищенности ИС и последующим наращиванием защищенности ИС по мероприятиям, характерным для определенного вида тайн:

$$Z = Z_0 \cap Z_1 \cap Z_2, \ldots, \cap Z_n,$$

где Z — общие защитные мероприятия;

Z_0 — базовое защитное множество мероприятий;

Z_1, Z_2,…, Z_n — дополнительные мероприятия для обеспечения необходимого уровня безопасности информационной системы.

Создание такой системы информационной безопасности происходит при помощи добавления к базовому списку защитных мероприятий дополнительных элементов безопасности, присущих тем или иным видам тайн.

2) Путем поглощения классов защищенности ИС для различных видов тайн классом с более высокими требованиями к защите информации.

Создаваемая система безопасности в данном случаи может носить несколько избыточной характер, по отношению к другим защищаемым тайнам, но тем не менее, позволит обеспечить безопасность с точки зрения законодательства в области защиты информации для данной комбинации видов тайн.

В работе предусмотрена верификация результатов на основе различных моделей ИС и различных комбинаций тайн в защищаемой информации: *коммерческой, служебной и персональных данных*.

А.С. Катрич, студ.; рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)

МЕТОДИКА КОНВЕРГЕНЦИИ ПОЛИМОРФНЫХ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Сети передачи данных (СПД), как элемент объекта информатизации, являются одним из важнейших инструментов в IT-инфраструктуре любой компании для решения своих задач, в связи с этим возникает потребность в надежной защите корпоративных информационных сетей. Согласно статистике интерактивной карты киберугроз Kaspersky, за последний месяц на территории РФ было зафиксировано около 150 млн сетевых атак на различные сетевые инфраструктуры [1]. Данная статистика позволяет сделать вывод о том, что задача защиты корпоративной информационной сети продолжает оставаться чрезвычайно актуальной в связи количеством данных, обрабатываемой в ней, а также числом атак, которым она может подвергаться.

Целью исследования является разработка методики по достижению целей решения многокритериальных задач (совместимости, функциональности, адаптивности к новым задачам) при организации защиты информации в корпоративных сетях, построенных на полиморфных программно-аппаратных комплексах (ПАК).

Для разработки методики необходимо выполнить следующие задачи:

- определить топологию исследуемой сети и построить модель угроз;
- проанализировать решения в области различных ПАК, используемых для защиты информации и оценить их совместимость;
- рассмотреть рекомендации производителей и лучшие практики в построении сетей для формирования методики;

Выполнив поставленные задачи, а также проанализировав полученные результаты, необходимо разработать методику, которая будет учитывать возможные проблемы, связанные с применением полиморфных ПАК и дать рекомендации по выполнению критериев их применения. Применяемые средства защиты не должны ограничивать возможности сети, в то время как сеть должна быть защищённой, наращиваемой и адаптивной [2].

Литература

1. **Kaspersky** Интерактивная карта киберугроз [Информационный Интернет-ресурс] URL: https://cybermap.kaspersky.com/ru/stats#country=213&type=ids&period=m
2. **Капустин Д.А., Дементьев Е.В.** Информационно-вычислительные сети: учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2011–141с.

А.С. Яситников, студент; рук. С.С. Рыжиков, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ПЭМИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ЭКРАНАХ МОНИТОРОВ

Одним из возможных каналов утечки информации является излучение элементов компьютера. Принимая и декодируя эти излучения, можно получить сведения обо всей информации, обрабатываемой в компьютере. Этот канал утечки информации называется ПЭМИН (Побочные Электромагнитные Излучения и Наводки). В англоязычных странах чаще всего применяется термин «TEMPEST».

Целью работы является проверка гипотезы о том, что ПЭМИН действительно работает.

Актуальность данной темы объясняется тем, что в настоящее время проблеме побочных электромагнитных излучений и наводок уделяется довольно мало внимания, а основной акцент уделяется разработке программных комплексов защиты информации от атак на приложения, операционные системы и web-приложения. Этим могут воспользоваться злоумышленники и атаковать незащищенные ЭВМ с необходимой для них информацией от утечки по каналам ПЭМИН.

Получить графическое изображение, в котором будет возможность точно распознать информацию на мониторе достаточно трудно. Для этого требуется применение специального программного обеспечения по фильтрации и распознаванию изображения. На качество приема и обработки побочных электромагнитных излучений монитора влияет множество факторов:

1) Технология изготовления матрицы монитора.

2) Наличие шума в радиоэфире, другие работающие неподалеку электроприборы.

3) Тип используемой антенны приемника и ее диаграмма направленности, характеристики приемника сигнала.

4) Наличие или отсутствие видеокарты в компьютере, тактовая частота компьютера на котором осуществляется прием сигнала.

В дальнейшем, полученное изображение можно улучшить с помощью специального программного обеспечения.

Литература

1. **Martin Marinov.** Remote video eavesdropping using a software-defined radio platform

С.В. Шмелев, студент, рук. А.С. Минзов. д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАССЛЕДОВАНИЯ ИНЦИДЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Актуальность выбранной темы исследования обусловлена тем, что расследование инцидентов представляет собой сложно формализуемую, слабо регламентированную нормативными документами деятельность.

Это позволяет поставить цель работы: на основе исследования технологий сбора и анализа событий информационной безопасности разработать методику проведения расследований инцидентов при различных сценариях их реализации.

Сложность решения данной задачи обусловлена существованием большого количества различных видов инцидентов, а также способов сокрытия свидетельств инцидентов. Решить данную проблему можно, используя различные базы угроз и уязвимостей. Одна из возможных моделей, применимых для расследования инцидентов — матрица MITRE ATT&CK. Столбцы данной матрицы представляют собой этап компьютерной атаки, например, проникновение в систему или получение учётных данных. Каждая тактика включает в себя несколько техник, описывающих конкретные способы осуществления атаки [1]. Так как техники, описанные в рамках одной тактики, характеризуют схожие действия злоумышленника, можно выявить схожие способы изъятия и анализа информации на каждом этапе. При этом в данной матрице возможно построение связей, позволяющих при выявлении определённых событий выдвигать предположения о техниках, которые использовал злоумышленник на более ранних этапах развития инцидента.

Таким образом научной задачей работы является описание и систематизация методов и средств изъятия и анализа доказательной базы при использовании злоумышленником различных техник и тактик матрицы ATT&CK, а также выявление характерных признаков техник, позволяющих на ранних этапах расследования оценить возможность их использования злоумышленником и спрогнозировать ход развития инцидента.

Результаты работы могут быть использованы в качестве методического пособия при проведении расследований инцидентов, а также при обучении специалистов информационной безопасности. Кроме того, разработанная методика может являться основой для проектирования систем, автоматизирующих процесс расследования инцидентов.

Литература

1. MITRE ATT&CK™ [Электронный ресурс] URL: https://attack.mitre.org/ (Дата обращения: 02.12.2019)

И.Д. Еломанов, студент; рук. И.В. Капгер, к.т.н., (НИУ «МЭИ»)

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Существующие системы электронной коммерции (СЭК) работают в непрерывном режиме (Рис. 1), что означает невозможность остановки их работы без ущерба для организации, в свою очередь это требует регулярного проведения их аудита. Особенность аудита этих систем заключается в сложности его проведения на реально работающей системе. Исходя из этого появляется научная задача создания методики аудита реально работающих систем [1].

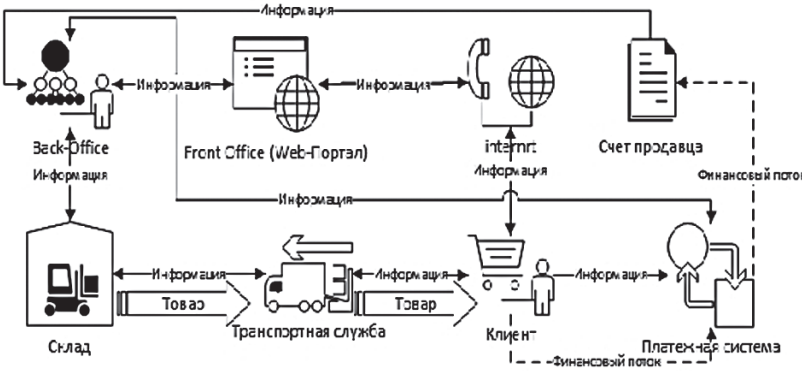


Рис. 1. Структурная схема СЭК

Целью исследования будет являться разработка комплекса методик проведения аудита в различных условиях, в том числе на реально работающих системах. Отсюда возникает задача, связанная с анализом условий аудита, требований стандартов и подзаконных актов и изучением возможности применения автоматизированных систем аудита. Итогом работы является комплекс методик, позволяющий проводить аудит автоматизированными и ручными средствами в различных условиях для различных систем.

Литература

1. NIST SP 800–53 (rev 4 04–2013) «Security and Privacy Controls for Federal Information Systems and Organizations»

И.В. Даньшин, студ.; рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ И ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОИСКОВОГО ПРИБОРА ST 031 «ПИРАНЬЯ»

Важным направлением подготовки специалистов в области информационной безопасности информационных технологий является изучение технических средств оценки защищенности информации по техническим каналам утечки. Одним из этапов исследования является оценка возможностей устройства, его погрешностей, а также создание методики измерений.

Для исследования показателей и погрешностей, которые при измерении появляются на выходе исследуемого устройства, на основе технических характеристик, описанных в документации к ST-031 «Пиранья», были рассмотрены спецификации, которые и являются критериями оценки. И на основе описанных критериев проведено сравнение исследуемого прибора с аналогами, для последующей оценки применимости в проведении поисковых работ. Анализируя технические характеристики, были определены следующие критерии оценки:

- Многофункциональность — количество режимов работы и дополнительные возможности;
- Пределы измерений — границы различных технических каналов утечки информации, опознаваемых устройством;
- Погрешность — отклонение измеренного значения величины от её истинного (действительного) значения;
- Степень автоматизации измерений — возможность простой и понятной визуализации выводимых результатов;
- Автономность — продолжительность работы прибора без смены элемента питания;
- Мобильность — габариты и вес прибора;
- Эргономичность — удобство в использовании прибора.

В дальнейшем, на основе данных критериев будет выстроена методика измерений и в лабораторных условиях проверена фактическая погрешность исследуемого прибора и их отклонений от спецификаций, для последующих возможностей по улучшению конструктивных особенностей прибора. А также уточнена применимость для проведения измерений, и обоснованы перспективные и актуальные требования к подобным приборам.

Литература

1. «Группа СТ» Многофункциональный поисковой прибор ST 031 «Пиранья». Руководство по эксплуатации: Санкт-Петербург, 2000. — 57 с.

А.К. Калинина, студ.; рук. А.Ю. Невский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕЗЛИЧИВАНИЯ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Постоянно ускоряющаяся информатизация общества и активное развитие открытых информационных систем значительно упрощают утечку и иные формы незаконного доступа к персональным данным субъектов. Разработка методики гарантированного обезличивания персональных данных, повышает их надежность и эффективность и тем самым составляет актуальную проблему.

Персональные данные составляют важную часть информационного пространства, содержащую сведения о физических лицах — субъектах ПД. Применение метода обезличивания персональных данных, позволяет снизить требования к информационным системам персональных данных, что ведет к снижению затрат и обеспечивает безопасность персональных данных, а также согласуется с требованиями [1]. Согласно требованиям [1] восстановить принадлежность ПД субъекту ПД без использования дополнительной информации должна отсутствовать, но как показывает практика при обезличивании присутствует риск повторной идентификации, что свидетельствует о необходимости комплексного изучения, исследуя методологию и средства обезличивания ПД.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) Провести анализ методологии по обезличиванию персональных данных;

2) Провести анализ российских и зарубежных методологий по обезличиванию;

3) Создать методику обеспечивающую надежность сокрытия информации ПД, путём замещения, прямых и обратных преобразований.

Результатом работы предполагается выявление различий между российскими и зарубежными методологиями, сравнение и выявление более эффективных методов по обезличиванию ПД используя различные ГОСТ. Создание методики обезличивания персональных данных.

Литература:

1. ФЗ №152 «О персональных данных» от 26.07.2006 г.
2. Методические рекомендации по применению приказа Роскомнадзора №996 «Об утверждении требований и методов по обезличиванию персональных данных» от 5 сентября 2013 г.

Р.Р. Янсаева, студ.; рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И МЕТОДИК ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ

Существующие концепции создания систем обеспечения информационной безопасностью (СОИБ), определенные нормативными документами ФСТЭК, ориентированы на модели актуальных угроз, с помощью которых определяется класс или уровень защищенности информационных систем. В зависимости от класса защищенности устанавливается соответствующий уровень применения защитных мер для противодействия этим угрозам. Количество этих мер увеличивается с увеличением класса защиты информационной системы. Отсюда возникает необходимость получения количественных оценок уровня защищенности, поскольку у специалистов по информационной безопасности не возникает уверенности в том, что принятые меры были достаточными и не избыточными.

Это возможно при помощи использования метода имитационного моделирования, целью которого является максимальное приближение модели к конкретному объекту и достижение максимальной точности его описания. Таким образом можно получить статистические данные о возможных потерях при реализации различных сценариев угроз информационной безопасности [1].

Конечная цель моделирования — получение результатов оценки эффективности защитных мероприятий при использовании различных нормативных документов по защите информации в государственных информационных системах, персональных данных, коммерческой и других тайн.

Отсюда целью работы является разработка имитационной модели СОИБ для оценки эффективности защиты информации, относящейся к государственным информационным системам и персональным данным при различной классификации уровня (класса) защищенности ИС и для различных сценариев угроз.

Реализация проекта позволит проанализировать существующие механизмы защиты информации, разработать имитационные модели, а также провести имитационный эксперимент моделирования угроз.

Литература

1. **Беляева О.В., Грицык В.А.** Имитационное моделирование систем защиты информации //Международный журнал экспериментального образования. — 2010.

А.В. Сергеев, асп.; рук. П.Б. Хорев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ СТЕГАНОГРАФИИ

Современная стеганография — это методика программирования, которая скрытно внедряет в стегоконтейнеры секретные сообщения, водяные знаки или даже полностью конфиденциальные файлы. С каждым годом популярность сокрытия стеганографии находят все более широкое применение, например, для скрытой коммуникации, защиты авторских прав, аутентификации контента, и так далее. С другой стороны, популярной становится методика применения стеганографии в хищении данных, в вредоносном программном обеспечении.

Целью работы является исследование существующих методов стеганографии, чтобы повысить компетентность в сфере информационной безопасности каждого пользователя.

Одна из рассмотренных в работе атак была зафиксирована в начале 2019 года в одной из социальных сетей Twitter. Тогда использовали изображения [1], содержащие встроенный скрипт, который после его загрузки из вредоносной учетной записи Twitter на компьютер жертвы, превращал его в часть ботнета. Это позволяло получить доступ к системе жертвы в любой момент. Эта новая угроза примечательна тем, что команды вредоносного ПО принимаются через легитимную службу, в которой используются множество легитимных процессов, и большинство антивирусных систем не могут справиться, так как доверяют службе. Также были зафиксированы случаи применения файлов аудио формата [2] при сокрытии сетевого трафика для обхода установленных файерволов. Поэтому, учитывая специфику направления и методики применения стеганографии, темпы ее развития очень высоки.

Результаты работы могут быть использованы в качестве дополнительного критерия при проведении аудита безопасности корпоративных и государственных информационных систем, а также в учебном процессе высших учебных заведений по направлению подготовки «Информационной безопасности».

Литература

1. **Zahravi A.,** Cybercriminals Communicate with Malware, [Электронный ресурс]// https://clck.ru/Ket5R
2. **Soni A. and Barth J. and Marks B.,** Malicious Payloads — Hiding Beneath the WAV [Электронный ресурс]// https://clck.ru/KetGa

С.Д. Вареников, студ.; рук. И.В. Писаренко, доц., к.т.н. (НИУ МЭИ, Москва)

ПРОАКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Вопрос обеспечения информационной безопасности является комплексным и решается путём различных подходов. Один из подходов обеспечения информационной безопасности сводится к реагированию на возникающие инциденты. Однако, такой вариант не может считаться эффективным, так как отлавливает уже свершившиеся инциденты и несёт угрозу для конфиденциальности, целостности и доступности защищаемой информации. Для предотвращения подобных событий безопасности служат средства проактивной защиты.

Таким решением может послужить целый комплекс программных и программно-аппаратных средств защиты информации: DLP-системы (Data Leak Prevention), SIEM-системы (Security Information and Event Management) [1], антивирусное программное обеспечение, межсетевое экранирование и сканеры безопасности.

Цель данной работы заключается в разработке алгоритмов настройки и управления средствами проактивной защиты в корпоративной информационной системе и оценка эффективности предложенного решения для организации.

Достижение поставленной цели предполагает проведение аналитического обзора по современному состоянию проактивных средств защиты информации, а также практическую работу с некоторыми из них (SearchInform SIEM, Комрад, Zlock и другие).

В ходе работы будут описаны следующие разделы:

1) Анализ теоретических сведений в области применения проактивной технологии защиты информации.

2) Анализ средств защиты информации и мониторинга событий ИБ.

3) Разработка предложений по внедрению и использованию предложенных технологий.

4) Оценка эффективности и обоснование принятых решений безопасности.

Полученные результаты будут использованы для подготовки специалистов по работе со средствами проактивной защиты.

Литература

1. **Дрозд А.** Обзор SIEM-систем на мировом и российском рынке / Аналитический центр Anti-Malware.ru [Электронный ресурс] Режим доступа: https: https://www.anti-malware.ru/analytics, 2014.
2. **Котенко И.В., Саенко И.Б., Чечулин А.А.** Проактивное управление информацией и событиями безопасности в информационно-телекоммуникационных системах // Вопросы радиоэлектроники. — 2014.

Токарев И.Е., студ.; рук. О.Р. Баронов,
конс. А.Ю. Модорский (НИУ «МЭИ», Москва)

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ ЗАЩИТЫ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СЕГМЕНТЕ КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ VOIP

Экономическое развитие организации приводит к необходимости территориального и функционального расширения. Крупная организация, осуществляющая свою деятельность по всей территории Российской Федерации, вынуждена искать решения для поддержания связи между удаленными филиалами.

Таким решением может послужить внедрение в корпоративную сеть сегмента Voice over IP (VoIP). Сети VoIP позволяют осуществлять телефонные звонки внутри организации без использования подключения к ТФОП. Использование технологий VoIP не ограничивается организацией телефонной связи между пользователями ИС, сети VoIP также позволяют проводить видеоконференций внутри организации с применением технологий, позволяющих удаленному пользователю из-за пределов корпоративной сети подключиться в защищенную внутреннюю сеть, используя технологию MRA [1] или WebRTC [2], VoIP включает поддержку быстрого обмена текстовыми сообщениями между пользователями по протоколу XMPP [3].

Технологии и возможности, описанные выше, примененные некорректно, могут послужить причиной утечки конфиденциальной информации за пределы организации. Отсюда следует, что целью работы является создание нормативно-методической базы по обеспечению безопасности конфиденциальной информации, циркулирующей в корпоративном сегменте VoIP.

Планируемым результатом является создание совокупности требований безопасности к сегменту корпоративной сети VoIP, описание лучших практик реализации таких сетей, создание лабораторного комплекса на основе полученных результатов и составленных требований.

Литература:

1. IETF Tools. Статья: Secure Remote Access with L2TP [Электронный документ], URL: https://tools.ietf.org/html/rfc2888
2. IETF Tools. Статья: Web Real-Time Communication Use Cases and Requirements [Электронный документ], URL: https://tools.ietf.org/html/rfc7478
3. IETF Tools. Статья: Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP): Core [Электронный документ], URL: https://tools.ietf.org/html/rfc6120

Д.А. Курилин, студ.; рук. А.С. Минзов, д.т.н, проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ИНТЕЛЕКТУАЛЬНЫХ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЯХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Одной из важнейших составных частей концепции развития единой энергетической сети (ЕЭС) [1], основанной на интеллектуальной электроэнергетической системе с активно-адаптированной сетью, является цифровая подстанция (ЦПС). Под ЦПС понимается объект электроэнергетики, на котором взаимодействие между всеми элементами осуществляется в цифровом виде на базе требований стандарта ГОСТ Р МЭК 61850 [2].

Однако процесс повышения уровня автоматизации объектов ЕЭС порождает риски информационной безопасности. Вновь создаваемые или модернизируемые программно-аппаратные комплексы ЦПС, должны соответствовать действующим нормативно правовым актам РФ, о чем свидетельствует федеральный закон №187 [3], относящий ЦПС к объекту критической информационной инфраструктуры (КИИ).

Отсюда в ходе научного исследования, необходимо справиться с задачей обеспечения максимальной степени кибербезопасности ЦПС удовлетворяющей требованиям федеральных законов и руководящих документов регуляторов в сфере обеспечения защиты информации на объектах КИИ, без нарушения технологических режимов работы в реальном времени.

Для достижения поставленной задачи необходимо разработать научно-методические материалы по настройке программно-аппаратных средств защиты информации от несанкционированного доступа и сетевого оборудования, а также внедрить эффективную систему обнаружения вторжений в защищаемую вычислительную сеть с применением шаблонов созданных критериев по выявлению аномального трафика, генерируемого возможными целевыми атаками из-за пределов контролируемой зоны.

Литература

1. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью [Информационный Интернет-ресурс] URL: http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas. pdf.
2. ГОСТ Р МЭК 61850. Национальный стандарт Российской Федерации. Сети и системы связи на подстанциях.
3. Федеральный закон Российской Федерации №187 от 12 июля 2017 г. О безопасности критической информационной инфраструктуры российской Федерации.

А.М. Курбатов, студ.; рук. П.Б. Хорев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»).

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА АУДИТА СЕТЕВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Обеспечение сетевой безопасности корпоративных информационных систем очень важно для организаций, так как способствует предотвращению несанкционированного доступа, использования, раскрытия, искажения, изменения, исследования, копирования или уничтожения ценной информации. Для достижения более высокого уровня безопасности нужно постоянно отслеживать и исправлять уязвимости информационных систем. Это и предполагает необходимость проведения регулярных аудитов. Сегодня существует большое количество методик и средств проведения аудита сетевой безопасности, но не у всех организаций есть возможность в проведении аудита из-за ограничения затрат на информационную безопасность [1]. В связи с этим актуальность данной работы заключается в разработке рациональной методики аудита сетевой безопасности корпоративных информационных систем в малых и средних производственных предприятиях.

Для этого необходимо проанализировать существующие методы и программно-аппаратные средства, применяемые на различных этапах аудита безопасности корпоративных информационных сетей, для определения их эффективности и оценки возможности использования в корпоративных информационных системах малых и средних производственных предприятий.

При выполнении работы будут решаться следующие задачи:

1) Анализ методик проведения аудита сетевой безопасности.

2) Анализ программно-аппаратных средств, используемых при проведении аудита сетевой безопасности.

3) Оценка эффективности применения существующих методов и средств проведения аудита сетевой безопасности в информационных системах малых и средних производственных предприятиях.

4) Определение методики проведения аудита сетевой безопасности в малых и средних производственных предприятиях.

Литература

1. **Скабцов Н**. Аудит безопасности информационных систем. Питер СПб, 2018.

Секция 20.
ПРИКЛАДНАЯ И БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА

Председатель секции — Крепков Игорь Михайлович
Секретарь секции — Буданова Наталья Александровна

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

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ДОКУМЕНТАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ «ПРИОРИТЕТ» В ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ОРГАНЫ

Согласно Постановлению Правительства РФ от 16 ноября 2015 г. №1236 [1] всем федеральным органам исполнительской власти следует сократить зависимость от импортного программного обеспечения, путем перехода на программные продукты российских производителей.

В рамках проекта внедрения в Федеральное агентство по управлению государственным имуществом был осуществлен переход с IBM Lotus на СДУ «Приоритет», которая включена в единый реестр российских программ [2]. С помощью данной системы была реализована единая автоматизированая система документооборота для работников центрального аппарата и территориальных органов.

Благодаря внедрению СДУ «Приоритет» упростилась работа отдела делопроизводства, регистрация внутренних документов происходит автоматически, упрощена работа с входящей и исходящей документацией, поиск документов занимает не более десяти секунд. Исполнители тратят минимальное время на подготовку проектов документов, исполнение заданий по документам. Руководители высшего звена подписывают\согласовывают проекты документов в кратчайшие сроки, отслеживают и контролируют исполнительскую дисциплину не только работников центрального аппарата, но и территориальных органов.

Федеральное агентство по управлению государственным имуществом выполнила постановление правительства РФ, осуществив переход на российскую систему электронного документооборота «Приоритет». В результате внедрения снизилась зависимость от зарубежного программного обеспечения.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 16 ноября 2015 г. №1236 «Об установлении запрета на допуск программного обеспечения, происходящего из иностранных государств, для целей осуществления закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд» URL: http:// www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71152170/ (дата обращения: 19.11.2019).
2. Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных URL: http:// reestr.minsvyaz.ru/reestr/?sort_by=date&sort=asc&name=ДИДЖИТАЛ+ДИЗАЙН%3А+Система+документационного+управления+«Приоритет»&owner_status=&owner_name=&set_filter=Y (дата обращения: 19.11.2019).

А.В. Дронова, студ.; рук. А..А. Еремеев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CMS-СИСТЕМ ДЛЯ РАЗВИТИЯ БИЗНЕСА

В современных условиях глобальная телекоммуникационная сеть информационных и вычислительных ресурсов приобретает свойства технически доступного и социально-массового явления, затрагивающего все сферы человеческой деятельности, что актуализирует исследование культуры Интернета. [1] Рутинная работа по верстке сайта и наполнению его контентом сменилась системами CMS, которые автоматизируют многие информационные задачи. На сегодняшний день наиболее важным является дальнейшее развитие и применение современных решений в контексте информационных задач, что и определило тему данного доклада.

CMS (Content Management System) представляет собой информационную систему или компьютерную программу (в зависимости от вида) для обеспечения и организации совместного процесса работы с контентом. Контент является информационным содержанием сайта и представляет собой любые виды электронных материалов, например: текст, аудио-, видеофайлы, фотографии и так далее. Таким образом, основной задачей CMS является упрощение процесса размещения и обмена контентом между конечными пользователями и веб-ресурсами.

Веб-сайт представляет собой логически связанные веб-страницы, данные на которых могут иметь как статическую, так и динамическую формы представления. Если сайт имеет статическую структуру, специалистам необходимо прописывать весь исходный код вручную. В случае с динамическим сайтом, каждая страница состоит из блоков скриптового кода, который при загрузке в браузере формируется в единую веб-страницу. Системы CMS работают по принципу динамически-организованных сайтов. Следовательно, основное достоинство CMS-систем заключается в том, что они позволяют управлять сайтом в упрощенном режиме, при этом, от администратора сайта не требуется глубоких технических знаний веб-технологий, что позволяет уделить основное внимание маркетингу и бизнес-процессам.

В заключении необходимо отметить, что польза использования CMS при развитии бизнеса очевидна, поскольку данные системы сокращают временные, трудовые и финансовые затраты на его запуск и обновление, также CMS системы имеют возможность оптимизации сайта для поисковых систем (SEO), что является очень большим плюсом при ведении бизнеса в наше время.

Литература

1. **Захарова М. В** Основные этапы и принципы процесса создания веб-сайта// Наука, образование и инновации: сборник статей Международной научно-практической конференции (15 октября 2016 г., г. Екатеринбург) в 3 ч. ч. 3/ Уфа: АЭТЕРНА, 2016.

Н.И. Шевцов, студ.; рук. Емельянов А.А, д.э.н., профессор (НИУ «МЭИ», Москва)

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЗА СЛЕЖЕНИЕМ И ПЛАНИРОВАНИЕМ МАРШРУТОВ ИНСПЕКТОРОВ

В ходе анализа деятельности инспекции при фотофиксации остановки и стоянки транспортного средства (ТС) выявлены проблемные участки дорог, на которые приходится наибольшее количество нагрузок на транспортную систему и на саму информационную систему инспекции. Увеличение количества камер на особо нарушаемых участках и дополнительные оптимальные маршруты инспекторов не должны нагружать систему. В особенных случаях правонарушений необходимо вызывать эвакуатор, для быстрого освобождения дороги для движения других транспортных средств. [1]. Основной объем по фиксации нарушений приходится на инспекторский состав, поэтому было принято решение о доработке информационной системы инспекции, позволяющей анализировать правонарушения ТС за период времени, тем самым направлять инспекторов в зону массовой фиксации нарушений и снижать нагрузку с участков дорог. Чтобы данный проект реализовать, были внесены существенные доработки в модуль «Контроль видеофиксации», которые включают множество факторов, удовлетворяющих потребности в точности и системной поддержке. [2]. Должны быть подготовлены исходные данные об исследуемом участке дороги, на основании которых можно построить его виртуальный аналог. К такому роду данным относятся число и ширина полос движения, дорожные знаки, разметка, время суток и т.д. По рассматриваемому участку дороги с фиксированными значениями влияющих факторов последовательно пропускаются виртуальные потоки автомобилей различной интенсивности движения (проводится серия компьютерных экспериментов). Имитируются процессы движения автомобилей при заданных законах распределения значений исследуемой полосы. По результатам имитации выявляется интенсивность движения в заданной исследуемой полосе движения, которая является оценкой пропускной способности. Данный проект был реализован средствами Web технологий, удовлетворяющими требованиями стандарта ISO/IEC15445:2000 и поддерживающих спецификации: HTTP 1.1; HTML 4.0; XHTML 1.0; CSS 2; JavaScript 1.6.

Литература

1. КоАП РФ Статья 12.19. Нарушение правил остановки или стоянки транспортных средств.
2. ОДМ 218.2.020–2012 Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог.

А.С. Чистяков, студ.; рук. А.А. Емельянов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В УПРАВЛЕНИИ ЗАПАСАМИ В РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛЕ

Управление запасами — это процесс, направленный на поддержание оптимального уровня запасов. Процесс управления запасами становится сложнее: непредсказуемость спроса, наличие неликвидного товара, излишки, некорректные прогнозы. Если запасов недостаточно, то будет происходить отток покупателей, если запасов слишком много — возможны списание товаров или уценка, моральное устаревание товаров, загромождение помещений — что может вызвать затруднение работы сотрудников предприятия на складе.

Объектом исследования является предприятие розничной торговли, осуществляющее продажу продовольственных и непродовольственных товаров населению.

Предметом исследования являются методы прогнозирования с помощью имитационного моделирования для определения необходимого уровня запасов, который удовлетворит потребности покупателей и которого хватит до следующей поставки.

Целью исследования является создание имитационной модели для управления и оптимизации запасов.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1) выявить основные бизнес-процессы в розничной торговле;
2) определить метод и технологию достижения поставленной цели;
3) определить необходимые параметры системы;
4) определить источники данных;
5) составить имитационную модель движения запасов.

Литература:

1. **Булыгина О.В., Емельянов А.А., Емельянова Н.З.** Имитационное моделирование в экономике и управлении / Под ред. А.А. Емельянова. М.: ИНФРА-М, 2019. — 592 с.
2. **Строгалев В.П., Толкачева И.О.** Имитационное моделирование. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. — 260 с.

И.А. Харин, студ., рук. П.Б. Хорев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМЫ ФГУП «ЦАГИ» ДЛЯ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФЛАТТЕРА САМОЛЕТА

Создание новых конкурентных самолетов требует повышения качества их наземной отработки, в частности по проблеме флаттера [1]. Качество наземной отработки зависит от совершенства систем расчетно-экспериментальных исследований (РЭИ). Представлены созданные с использованием методологии структурного анализа и технологии проектирования функциональная модель (Рис. 1) процессов исследования флаттера и информационная модель поддерживающей её структуры (Рис. 2) [2]. Выполненный на основе этих моделей анализ позволил сформулировать предложения по совершенствованию системы РЭИ флаттера, обеспечивающие сокращение сроков исследований, достоверность получаемых результатов и информационную безопасность (ИБ) системы. Сокращение сроков РЭИ флаттера обеспечивается внедрением в структуру системы базы данных (БД), выполненную на основе Microsoft Access и позволяющую повысить производительность обмена данными между компонентами системы. Достоверность получаемых данных РЭИ предлагается повысить при выполнении работ по испытаниям динамически подобных моделей самолета на флаттер в аэродинамических трубах и при расчетных исследованиях флаттера. ИБ системы рекомендуется обеспечить путем ролевого разграничения доступа к объектам БД.

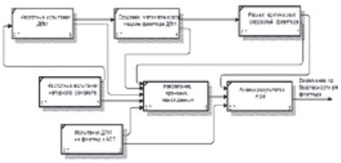


Рис. 1 Функциональная модель

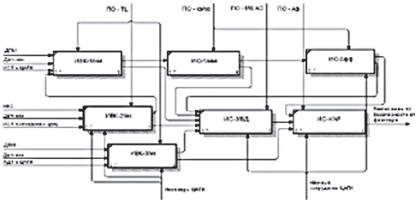


Рис. 2 Информационная модель

Список используемой литературы

1. Келдыш М.В.: Избранные труды, Москва Наука, 1985.
2. SADT — методология функционального и структурного анализа https://studref.com/351169/informatika/funktsionalnoe_modelirovanie.

К.А. Иванов, студ.; рук. О.И. Артюхов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

АСИНХРОННЫЕ АРХИТЕКТУРЫ

Для задач, интенсивно использующих операции ввод-вывод (т.е. тех задач, которые большую часть времени простаивают в ожидании завершения ввода-вывода) и допускающего выполнение этих операций в неблокирующем режиме, наилучшим с точки зрения производительности решением являются асинхронные архитектуры.

Асинхронные архитектуры называют архитектурами управляемыми событиями, поскольку завершение операций ввода-вывода можно моделировать как внешние события, на которые обработчик реагирует соответствующим образом.

Асинхронные архитектуры можно разделить на три обширные категории:

— Мультиплексная архитектура, где код отслеживает каналы ввода-вывода, которые в данный момент заняты выполнением операций. Если процесс не выполняет никаких действий, то он переходит в режим блокирующего ожидания, дожидаясь завершения операций в соответствующем наборе каналов.

— Архитектура на основе обратных вызовов, где код связывает с каждым ожидаемым событием объект обратного вызова — функцию или другой вызываемый объект, который вызывается асинхронным фреймворком при наступлении события.

— Асинхронные архитектуры на основе сопрограмм, обеспечивающие функцию взаимодействия с фреймворком, приостанавливая выполнение, передавая управление фреймворку, сохраняя при этом внутреннее состояние, и затем, после возврата управления, возобновлять выполнение с того же места, в котором оно было приостановлено. Подробное описание архитектур на основе обратных вызовов рассматривается в [1].

Асинхронные архитектуры позволяют реализовать два важных аспекта при разработке приложения или алгоритма взаимодействия — повышение производительности и удобство использования. Реализация данного подхода позволяет снизить количество и длительность блокировок, а также зависимость от запросов, ожидающих выполнения зависимых задач.

Литература

1. **Alex M., Anna R., Steve H.** Python in a Nutshell. Third Edition: O'Reilly, 2019.

Е.И. Лобанева, асп.; рук. М.И. Дли, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Системы интеллектуального мониторинга находят все более широкое применение в различных областях производства и общественной жизни для анализа поведения толпы, контроля смены сцены, распознавания действий, определения состояния технологического объекта. В алгоритмической основе интеллектуального мониторинга часто лежат сверточные нейронные сети (СНС), ориентированные на распознавание изображений и автоматизацию извлечения скрытых закономерностей в данных [1]. Актуальной задачей для систем мониторинга является разработка методов прогнозирования динамики наблюдаемых процессов на основе применения аппарата СНС, в том числе для информации, представленной в форме непрерывных или дискретных сигналов.

Новизна разработанного метода прогнозирования динамики процесса заключается в предложенном подходе к формированию изображения для дальнейшего его распознавания с помощью СНС. В основе метода лежит применение дискретного преобразования Фурье (ДПФ) к исходному сигналу, представленному в виде массива числе, являющихся результатом измерений контролируемого процесса в течение временного интервала T. Внутри интервала T отсчеты сигнала берутся через интервал времени Δt. Весь промежуток T разбивается на N фрагментов, внутри каждого из которых проводится ДПФ. Далее формируется изображение F, по оси X для которого откладывается номер фрагмента i=1,… N, а по оси Y частоты, которые определяют интенсивность оттенка серого цвета пикселя. Распознавание СНС разности изображений F_k — F_{k-1}, где k — индекс очередного интервала T, позволяет прогнозировать динамику процесса.

Автором разработана программа на языке Python в среде Anaconda, с использованием библиотек машинного обучения Keras, Tensorflow, реализующая предложенный метод прогнозирования динамики. Предложенный метод и программа могут применяться в составе систем интеллектуального мониторинга различного назначения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-01-00425.

Литература

1. **Йонг Б., Чжан Г., Чен Х.** Интеллектуальная система мониторинга на основе облачных и сверточных нейронных сетей // Журнал суперкомпьютеров. 2017. Т. 73, №7. С. 3260–3276.

В.В. Фирсов, студ.; рук. О.И. Артюхов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕПЛИКАЦИИ ДЛЯ ОБМЕНА ПОТОКОВЫМИ ДАННЫМИ В СРЕДЕ ORACLE APEX

С разрастанием компаний появляется потребность в наличии возможности совместного использования информации между несколькими базами данных и приложениями. Применение разнородных технологий для совместного использования информации лишь усложняет эффективную репликацию.

Целью магистерской диссертации является разработка приложения по работе с клиентами и использование репликации для обмена потоковыми данными в среде Oracle.

Так как работа call-центра завязана на огромном количестве информации и не одной базы данных, то репликация помогает решить проблему с обменом информацией.

В ходе разработки приложения были выбраны следующие программные продукты:

1) Oracle SQL Developer Data Modeler позволяет разработать базу данных, протестировать ее и составить SQL — запросы;

2) Oracle Application Express быстрая среда разработка прикладного программного обеспечения.

Технология Oracle Streams представляет собой единое универсальное решение для осуществления обмена информацией по всему организации или предприятию.

Преимуществом использования Oracle Streams является то, что с его помощью информацию можно захватывать (собирать), передавать и применять в пределах одной и той же базы данных Oracle, и между несколькими.

Технологию Oracle Streams можно также применить и для обслуживания логической резервной базы данных. Данная база может оставаться открытой для операций чтения и записи. Резервные базы данных являются прекрасным решением для разгрузки производственной базы данных от запросов [1].

Таким образом, технология Oracle Streams обеспечивает удобный, гибкий, универсальный и автоматически работающий механизм интеграции приложений и баз данных.

Литература

1. Применение Oracle Streams для репликации и обмена информацией 2017 г. [Электронный ресурс], https://oracle-patches.com/oracle/prof/3053

А.Д. Стоянова студ. (Горный университет, Санкт-Петербург),
рук. О.В. Стоянова, д.т.н., проф. (СПбГУ, Санкт-Петербург)

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫМИ КОМПАНИЯМИ

Возможности современных информационных технологий сбора и обработки данных, на первый взгляд, могут обеспечить все потребности менеджмента компаний, и дело только в совершенствовании алгоритмов анализа. Однако практика российских предприятий свидетельствует о наличии проблем иного рода, в частности проблемы выбора индикаторов для объективной и комплексной оценки и поддержки принятия решений. Цель настоящего исследования — идентификация проблем, связанных с информационной поддержкой экологического управления, и способов их решения. Объект исследования — нефтегазовые компании, предмет — информационное обеспечение процессов экологического управления.

Экологическое управление направлено на реализацию экологических политик и целей предприятия в соответствии с международными стандартами ISO 14000 и EMAS. В ходе исследования проведен анализ этих и других документов с целью выявления критериев качества и эффективности экологического управления. Рассмотрены Глобальный договор ООН, «Руководство по социальной ответственности ISO 26000», «Экологические требования общественных природоохранных организаций к нефтегазовым компаниям», стандарт отчетности по устойчивому развитию GRI и др. По результатам анализа выявлено следующее.

1. Отсутствие единой хорошо организованной системы показателей, характеризующей все аспекты экологического управления. Наибольшей системностью отличается GRI, имеющий отраслевые приложения GRI G4, в т.ч. для нефтегазовой отрасли. Однако, российская версия GRI «Базовые индикаторы результативности», не содержит отраслевых приложений.

2. Ориентированность большинства показателей на внешних пользователей отчетности, в том числе контролирующие организации.

3. Недостаточная проработанность вопросов формирования агрегированных ключевых показателей для информационной поддержки стратегического экологического управления.

В работе предложена структура системы показателей, в основе которой — принципы Глобального договора ООН в областях трудовых отношений и охраны окружающей среды. Показатели для второй области сгруппированы по разделам «повышение ответственности за состояние окружающей среды» и «развитие экологически безопасных технологий». Данная структура может служить основой систем бизнес-аналитики для информационной поддержки стратегического экологического управления.

А.С. Дмитриев, студ.; П.И. Алексеев, студ.;
рук. Н.А. Галанина, д.т.н., проф. (ЧГУ им. И.Н. Ульянова)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗАПИСЕЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОРНЕЛЛА В ВИДЕ МЕНТАЛЬНЫХ КАРТ

Метод Корнелла является способом или системой ведения записей, пользующимся большой популярностью среди студентов ведущих вузов мира. Ментальные карты — это диаграмма зависимостей, связывающая в виде дерева основные идеи и понятия рассматриваемой области. Научно доказано [1], что использование ментальных карт является эффективной методикой запоминания новой информации. Поэтому поиск способа автоматизации представления записей в диаграмме данных является актуальной задачей.

В данной работе проводилась разработка программного обеспечения для автоматизированного перевода записей Корнелла в диаграмму зависимостей (ментальные карты). Полученный авторами программный продукт позволяет пользователям вести записи методом Корнелла, а затем получать диаграмму зависимостей их записей. Новизна проведенных исследований заключается в том, что не было найдено ни одного похожего сервиса или продукта. Программный продукт представляет собой веб-приложение [2]. Клиентская часть представляет собой SPA-приложение, написанное с использованием технологий React/Redux. Серверная часть приложения написана с использованием php-фреймворка Laravel, в качестве баз данных используются PostgreSQL и Redis. Выбор данной архитектуры обоснован тем, что она является современным стандартом в разработке веб-приложений и обеспечивает независимость компонентов приложения.

Разработанный продукт находится в открытом доступе и доступен для использования.

Литература

1. **Huang M.** Optimization of College English Acquisition on the Basis of Mind-Map and Meta-Cognitive Learning Strategies, 2016, Vol. 3(2), doi:10.4236/oalib.1102781.
2. **Бенкс А., Порселло Е.** React и Redux. Функциональная веб-разработка. — СПб.: Изд-во «Питер», 2018.

И.В. Лесникова, студ.; рук. О.В. Жнякин, доцент (НИУ «МЭИ»)

КОНЦЕПЦИЯ И ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО СОЗДАНИЮ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ ОЦЕНКИ СТРАХОВЫХ ТАРИФОВ ПЕРЕВОЗЧИКА

Актуальность выбранной темы обусловлена необходимостью использования в страховых компаниях (далее СК) информационного обеспечения систем оценки страховых тарифов перевозчика для соблюдения норм, представленных в Федеральном законе №67-ФЗ [1].

Необходимость использования в практике СК информационной системы (далее ИС) оценки страховых тарифов перевозчика позволили разработать концепцию программного средства, с помощью которого сумму страхового взноса сможет без труда рассчитать как страховщик, так и страхователь. В работе рассмотрены существующие программные продукты на рынке страхования; выявлены и проанализированы как положительные, а также отрицательные стороны, так и перспективы развития каждого из них. В соответствии с результатами проведенного сравнительного анализа существующих систем можно считать, что они не удовлетворяют требованиям к системе, которая эффективно работала бы как в СК, так и могла бы выдавать данные страхователю.

В результате анализа была предложена концепция и проектные решения разработки новой более гибкой в плане настройки продуктов ИС. Таким образом, ключевыми видами операционной деятельности СК [2], которые необходимо полностью или частично централизовать являются:

- деятельность финансовой службы;
- деятельность контакт-центра и юридической службы;
- урегулирование убытков;
- администрирование полисов, включая андеррайтинг;
- управление кадрами.

Данное исследование представляет достаточный практический интерес в части предоставляемой возможности внедрения его результатов в деятельность СК в целях уменьшения затрат со стороны Заказчика на доработку страховых продуктов.

Литература

1. Федеральный закон «Об обязательном страховании гражданской ответственности перевозчика за причинение вреда жизни, здоровью, имуществу пассажиров и о порядке возмещения такого вреда, причиненного при перевозках пассажиров метрополитеном» от 14.06.2012 N 67-ФЗ.
2. **Соловьев А.В.** Информационные технологии управления: Учеб. пособие для студентов вузов. Ярославль, 2006 г.

В.С. Усенко, бакалавр; рук. О.В. Жнякин, доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И ТЕСТИРОВАНИЯ

В докладе рассмотрены вопросы внедрения гибкой методики разработки и тестирования программного продукта. Взята одна из гибких методик управления Scrum [1] (Рис. 1.).

Сегодня специалистами в области информационных технологий часто используются старые подходы к управлению разработкой программного продукта. В виду современных реалий ведения бизнеса, часто меняющимся требованиям и быстроменяющимся условиями, необходимо переходить на гибкие модели управления, разработки, тестирования [2]. Данные методики, позволяют своевременно и оперативно решать проблемы, возникшие во время разработки. Такой подход похож на «Спираль», в любой момент можно вернуться к любой точке и не проводить дополнительных итераций. Данная методика была внедрена в проект «Е-Отчетность». Количество ошибок было снижено на 30 процентов, а количество выполняемых задач увеличилось на 15 процентов. Продукт вышел в релиз и поддерживается по сей день.

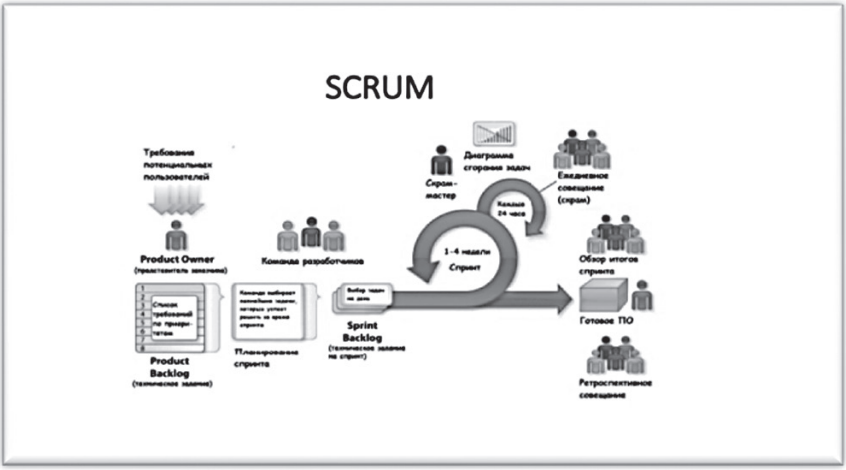


Рис. 1. Описание Scrum

Литература

1. **Сазерленд Д.** Scrum. Революционный метод управления проектами. «Просвещение, Express Publishing», 2017 г.
2. **Криспин Л, Грегори Д..** Гибкое тестирование. Руководство для гибких команд. «Вильямс», 2016 г.

В.К. Денисенко, студ.; рук. Т.В. Лукьянова, ст. преп. (НИУ «МЭИ», Москва)

ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИОННЫХ РИСКОВ

Характерной чертой современного общества является его информатизация. Информация и информационные ресурсы становятся одним из решающих факторов развития компании.

Для обеспечения информационной безопасности (ИБ) компания на постоянной основе проводит внутренний аудит для объективной и независимой оценки текущего уровня ИБ. Одним из этапов аудита является оценка рисков системы [1].

Используются различные методы оценки и управления информационными рисками, одним из самых результативных является матричный.

Цель оценивания рисков состоит в определении характеристик рисков корпоративной информационной системы (ИС) и ее ресурсов. В результате оценки рисков можно выбрать средства, обеспечивающие желаемый уровень ИБ компании. При оценивании рисков учитываются ценность ресурсов, значимость угроз и уязвимостей, эффективность существующих и планируемых средств защиты [2]. Результаты подвергаются матричному анализу рисков и возможностей, при помощи матрицы выставляются оценки для дальнейшей работы над рисками.

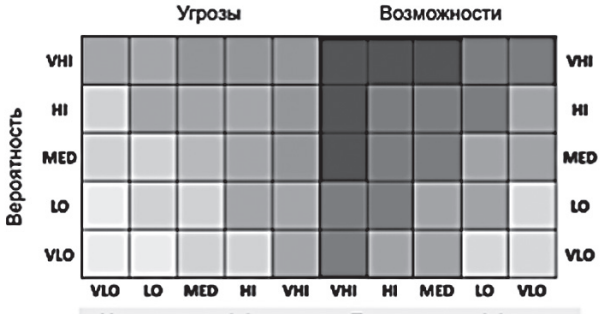


Рис. 1. Матричный анализ рисков и возможностей

На основе полученных результатов проводятся защитные мероприятия. Аудит позволяет объективно оценить безопасность всех основных компонентов и сервисов корпоративной ИС, техническое состояние аппаратно-программных средств защиты информации.

Литература

1. **Cerullo, M. J., Cerullo, V**. EDP risk analysis. Computer Audit Journal, (2), 9–30.
2. **Fisher, R.** Information Systems Security. Prentice-Hall.

И.В. Молоканова, студ.; рук. О.В. Жнякин, доцент (НИУ «МЭИ»)

МОДУЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ DIASOFT FLEXTERA ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРТФЕЛЯ HELD-TO-MATURITY

Проект создания модуля информационной системы Diasoft FLEXTERA для формирования портфеля Held-to-Maturity выполнен с целью автоматизированного расчета стоимости ценных бумаг, удерживаемых в портфеле банка до погашения, для последующего расчета резервов по новому международному стандарту финансовой отчетности.

Система обеспечивает для аналитиков возможность самостоятельно формировать отчетность по амортизированной стоимости ценных бумаг на данных хранилища банка.

Модуль информационной системы для автоматического формирования портфеля реализован в Diasoft FLEXTERA. Данная информационная система выбрана, потому что она позволяет на основе загружаемых данных реализовать автоматизацию различных процессов. Так же Diasoft FLEXTERA является один из крупнейших российских разработчиков и поставщиков ИТ-решений для финансового сектора.

В качестве основного источника данных, доступных в Системе, используются витрины данных, реализованные в реляционной СУБД Oracle [1]. В качестве дополнительного источника используются многомерные кубы, реализованные в многомерной БД Oracle Hyperion Essbase, которые также заполнятся на основании витрин данных [2].

Работа с данными инструментами осуществляется с помощью веб-браузера. Данные, полученные при выполнении готовых отчетов и произвольных пользовательских запросов, могут быть переданы в Microsoft Excel для дальнейшей обработки.

Разработанный модуль информационной системы Diasoft FLEXTERA для формирования портфеля ценных бумаг представляет собой интуитивный пользовательский интерфейс, являющийся средством ускорения подготовки международной отчетности. Разработанная информационная система позволяет полностью убрать ручной подсчет по данным ценным бумагам и тем самым повысит производительность труда и уменьшит время на обработку информации.

Литература

1. **Christian Screen, Haroun Khan,** Adrian Ward Oracle Business Intelligence Enterprise Edition 11g: A Hands-On Tutorial, Packt Publishing, 2012-196с.
2. **Larissa T.** Moss Business Intelligence Roadmap: The Complete Project Lifecycle for Decision-Support Applications Mass Market Paperback, 2012-226с.

Сафергалиева В.А, студ.; рук. Жнякин О.В., доцент, к.т.н. (НИУ «МЭИ», Москва)

ОРГАНИЗАЦИЯ МЕЖВЕДОМСТВЕННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА В СИСТЕМЕ УЧЕТА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Для взаимодействия информационных систем государственных организаций и ведомств между собой и с гражданами используются средства систем электронного документооборота. Взаимодействие осуществляется в рамках государственной программы Российской Федерации «Информационное общество (2011–2020 годы)» [1].

Взаимодействие реализуется по средствам:

- Системы межведомственного электронного документооборота (МЭДО),
- Единой системы межведомственного электронного взаимодействия (СМЭВ)

в целях предоставления государственных и муниципальных услуг в электронной форме.

Электронный документооборот осуществляется при помощи сервера, через который проходят документы всех участников информационного обмена.

Для выбора системы электронного документооборота для Единой системы учета транспортных средств (ЕСУТС) назначения был произведен анализ требований разрабатываемой системы.

Главным критерием при выборе системы документооборота является необходимость обмена данными с налоговыми органами для учета собственников и производителей транспортных средств и получение данных из Единой системой нормативно-справочной информации. Именно эти системы являются участниками взаимодействия со СМЭВ.

На основе выявленных особенностей, размещение и актуализация нормативной справочной информации в ЕСУТС, а также взаимодействие с ИС ФНС РФ было реализовано с использованием СМЭВ.

При выборе системы электронного документооборота решение необходимо принимать на основе комплексного анализа возможностей систем электронного документооборота в зависимости от специфики разрабатываемой системы и требований организации-заказчика.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 N 313 (ред. от 30.11.2019) «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Информационное общество»

Л.И. Пасечник, студ.; рук. О.В. Стоянова, д.т.н., проф. (СПбГУ, Санкт-Петербург)

ВЫБОР ПОДХОДА К РАЗРАБОТКЕ МОДЕЛИ КОМПЕТЕНЦИЙ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ КОМПАНИЙ

В условиях динамично изменяющейся рыночной среды возрастает необходимость обучения и переобучения, а также управления обучением персонала. Для систематизации управления обучением рекомендуется использовать модели компетенций.

Цель исследования — анализ подходов и методик разработки моделей компетенций и выбор методики, релевантной для цифровой компании.

Модель компетенций включает в себя различные знания, умения, навыки и индивидуально-личностные характеристики, которые должны быть описаны в форме индикаторов поведения. В современной теории и практике моделирования систем компетенций можно определить следующие подходы: британский, американский, немецкий и французский.

Отличием британского подхода является то, что компетенции используются как требования к сотруднику, предъявляемые в рамках выполнения должностных обязанностей. Французские модели взяли в себя что-то от британских и американских моделей и используют аналоги поведенческих и функциональных компетенций. Немецкие модели являются более сложными, чем французские. Это связано с сложившейся практикой использования квалификационных профессиональных стандартов. В целом, для Германии «модель профессии» более важна, чем «модель должности» для компании.

При выборе релевантного подхода к разработке модели компетенций важно учитывать, что речь идет о компетенциях особого типа — «цифровых компетенциях». В процессе исследования проведен анализ существующих моделей цифровых компетенций, показавший отсутствие общепринятого понимания содержания таких компетенций и зависимость таких компетенций от сферы деятельности компании. Полученные результаты позволили сформулировать рекомендацию по выбору комбинированного (британский и немецкий) подхода к созданию модели в формате матрицы компетенций на основе анализа области деятельности компании с возможностью дальнейшей оценки уровня владения компетенциями по стандартизованной шкале.

Предложенные рекомендации позволят цифровым компаниям, ещё не имеющим модели компетенций, оперативно приступить к их разработке и внедрению в процессы управления развитием сотрудников.

Д.А. Баканов, студ.; рук. С.А. Петров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ В МЕДИЦИНСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Рынок цифровых медицинских услуг стремительно растет по всему миру. Этот рост обеспечивается за счет заинтересованных пользователей и специалистов в области здравоохранения и медицинских центров. Речь идет о полной доступности к медицинским услугам, которые предоставляются в любом месте и в любое время. Общая тенденция показывает, что все больше людей готовы доверять новым технологиям, связанным со здоровьем. В результате опроса, в котором приняли участие около пяти тысяч человек, выяснилось, что 48% опрошенных уже пользуются eHealth-услугами.

Однако, нередко пациенты имеют слабое представление о принимаемых ими препаратах, возможных эффектах и противопоказаниях. Помимо этого, врачи могут не знать об особенностях пациента ввиду утери информации в амбулаторной карте. В интернете существуют сайты, способные предоставить информацию подобного рода, но они не могут гарантировать сохранность персональных данных. Благодаря популяризации информационных систем в медицинских учреждениях, все эти проблемы можно решить с помощью дополнительного встраиваемого модуля для ИС, при этом отпадает необходимость в предоставлении конфиденциальной информации третьим лицам.

Как пример реализации был создан прототип сервиса, который интегрируется в медицинские информационные системы, и анализирует назначения пациентов посредством машинного обучения, выделяя несовместимые препараты или потенциальные противопоказания на основе электронной амбулаторной карты пациента. Данная информация может быть использована для информирования пациента о возможных неудобствах во время прохождения курса лечения, и для принятия решений врачом касательно изменения курса лечения или подхода к пациенту.

Разработанный прототип представляет собой сервис на базе библиотеки NLTK [1], который размещается в МИС клиента. Взаимодействие между МИС и сервисом обеспечивается посредством API [2], что позволяет быстро ввести сервис в работу, безболезненно добавлять, изменять и обновлять его функции, а также обеспечивает безопасность обрабатываемых данных.

Литература

1. **Bender E.** Linguistic Fundamentals for Natural Language Processing — San Rafael: Morgan & Claypool Publishers, 2013–184 p.
2. **Bass L., Clements P., Kazman R.** Software Architecture in Practice / 3rd ed. — Boston: Addison-Wesley, 2012. — 624 p.

Направление

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

Директор ИЭТ, к.т.н., профессор С.А. Грузков

Секция 21.
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ

Председатель секции — Ширинский Сергей Владимирович
Секретарь секции — Гончаров Владимир Иванович

К.В. Шумов, аспирант; рук. Е.М. Соколова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЛИНЕЙНЫЙ ГЕНЕРАТОР С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ В СХЕМЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО АМОРТИЗАТОРА

В современных технологиях успешно применяются линейные генераторы малой и средней мощности возвратно-поступательного движения. В частности, возникли предпосылки для создания таких генераторов для гибридных автомобилей. Применение в линейных генераторах высокоэнергетических постоянных магнитов делают перспективы их разработки вполне реальными, в частности при создании электрических амортизаторов, которые являются альтернативным вариантом амортизаторов гидравлических, широко применяемых в автомобилестроении.

В электрическом амортизаторе кинетическая энергия колеблющегося элемента подвески преобразуется в электрическую. Эта энергия может быть использована для питания различных приборов автомобиля. Показано, что при выборе конструкции амортизатора предпочтительной оказалась конструкция с коротким наружным индуктором, в пазах которого расположена трехфазная обмотка генератора. Вторичный элемент имеет радиально намагниченные постоянные магниты на основе редкоземельных материалов. Вследствие относительного линейного перемещения элементов первичного с обмоткой и вторичного с постоянными магнитами, в обмотке индуцируется переменное напряжение, которое выпрямляется трехфазным выпрямителем и подается на аккумулятор. Представляет интерес оценить, какая часть энергии колебаний преобразуется в электрическую, а также электромагнитную силу, ее пиковые значения, время переходного процесса, число колебаний. Создана математическая модель электрического амортизатора, позволяющая исследовать переходные процессы при различных законах изменения возмущающей силы. Приведены результаты исследования движущей силы, тока, скорости и перемещения от времени. Предложенная математическая модель может быть использована в алгоритмах управления микропроцессоров систем подвески автомобилей и других средств передвижения.

Литература

1. **Хитерер М.Я., Овчинников И.Е.** Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения. — СПБ. Корона — Принт. 2008. — 368 с.
2. **Соколова Е.М., Мощинский Ю.А.** Цилиндрические линейные асинхронные двигатели, — М. Изд-во МЭИ, 1998. — 26 с.

В.И. Королев, асп.; рук. А.С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОГНОЗНЫЙ МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ВРАЩАЮЩИХСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Актуальность прогнозного мониторинга технического состояния электрических машин обусловлена современными тенденциями развития технико-экономических требований на производстве. Одним из основных вопросов рассматриваемой проблемы является повышение требований к электрическому оборудованию, в частности, к вращающимся машинам.

Вращающиеся машины необходимы для большинства технологических процессов в промышленности, и их поломки могут напрямую влиять на производственные графики, качество продукции и производственные затраты. Поэтому очень важно следить за состоянием машины, чтобы избежать выхода её из строя. Фактически, существует необходимость в эффективной программе мониторинга состояния и технического обслуживания машин, при которой нет потребности в использовании сложного и дорогого оборудования. Для достижения данной цели разрабатываются и применяются различные техники обслуживания. Одной из наиболее перспективных является прогнозное техническое обслуживание или обслуживание по фактическому состоянию машины [1].

В работе основное внимание уделено методам прогнозного обслуживания (обслуживанию по фактическому техническому состоянию). При данном виде обслуживания состояние оборудования контролируется непрерывно или периодически. В зависимости от полученных результатов составляется прогноз технического состояния оборудования и формируются программы технического обслуживания [2].

Прогнозное обслуживание оборудования направлено на предсказание места и времени вероятного возникновения неполадок, а также на избежание простоя оборудования и сокращения расходов на обслуживание по сравнению с плановым осмотром, основанным на промежутках времени, рекомендуемых заводом изготовителем.

Литература

1. **Rawi Zaid.** Machinery Predictive Analytics / Rawi Zaid // SPE Intelligent Energy (March 23–25, Utrecht, Netherlands). — 2010
2. **R. Mobley,** «An Introduction to Predictive Maintenance», 2nd edition, Elsevier Science (USA), 2002.

С.А. Абашин, магистрант; рук. В.С. Осипов, к.т.н., доц. (Сам. ГТУ г. Самара)

АНАЛИЗ КАТАЛОЖНЫХ ДАННЫХ КРАНОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Наиболее подробные каталожные данные для всех режимов работы приведены в руководстве по эксплуатации от основных производителей крановых двигателей ЗАО «Сибирский электромашиностроительный завод» и ОАО «Сибэлектромотор». Целью исследования является определение достоверности и соответствия каталожных данных общим известным закономерностям изменения параметров КПД и cosφ в зависимости от номинальной мощности двигателя.

Реактивная мощность на холостом ходу и реактивная мощность потребляемая из сети

$$Q = 3 \cdot U_{1Н} I_{10} \qquad Q = \frac{P_Н}{\eta} \operatorname{tg}\varphi_Н \qquad (1)$$

Приравнивая, эти выражения получим ток холостого хода (2)

$$I_{10} = \frac{P_Н \operatorname{tg}\varphi_Н}{3U_{1Н}\eta} \quad (2) \qquad \operatorname{tg}\varphi_Н = \frac{I_{10} 3U_{1Н}\eta}{P_Н} \quad (3) \qquad s_Н = 0{,}0682\left(\frac{P_Н}{1{,}4}\right)^{-0{,}1658} \quad (4)$$

В таблице приведены каталожные данные одного двигателя при продолжительном режиме ПВ=100 % и повторно-кратковременном ПВ=40 %.

Типоразмер двигателя	Мощность кВт, при		Частота вращения, об/мин	Ток статора при 380 В, А	Cosφ, о. е.	КПД, η %	s
	ПВ 40 %	ПВ 100 %					
4МТКМ225М6 МТКН511-6	37		930	77	0,86	85	0,07
		22	955	51	0,76	86	0,045

По выражению (2) получим токи холостого хода 39,13 А при ПВ=40 % и 33,15 А при ПВ = 100 %, разница составляет ≈17 % а для двигателя 11 (7) кВт токи равны соответственно 12,39 и 13,91 А. Отношение моментов при ПВ = 40 % и при ПВ = 100 % равно ≈1,7, отношение скольжений на линейном участке механической характеристики должно быть таким же, а по каталожным данным 0,07/0,045 = 1,555. Поэтому необходима корректировка каталожных данных. Произведён расчёт токов холостого хода всех двигателей при различных ПВ, построены графики зависимостей I_{10} и η от мощности двигателей, получены аппроксимирующие аналитические выражения, затем рассчитаны из выражения (3) tgφ и cosφ, значения которых также аппроксимированы. Построены графики скольжения и их аппроксимация аналитическими выражениями, например (4) при ПВ = 100 % для двигателей мощностью 1,4–22,0 кВт:

К.П. Клямеров, студ.; рук. С.П. Астахов, к.т.н., доц.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)

ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ПИТАНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ КОЛЕСНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОЭФФЕКТА

Прототипом источника питания является «Устройство преобразования энергии земного притяжения при движении колёсного транспортного средства в электрическую» [1]. Недостаток данного устройства — сложность интеграции с автомобилем.

Предлагаемая конструкция имеет ряд отличий от прототипа: пьезоэлементы находятся внутри шины транспортного средства; они деформируются за счёт изменения силы давления, возникающего при вращении колеса; датчики встроены в шину; резервный источник питания и блоки преобразователей крепятся на внутренней стороне обода колеса.

Работает устройство следующим образом: деформируют пьезоэлементы при помощи внешнего воздействия, которым является изменение силы давления на пьезоэлементы в связи с вращением колеса. Преобразуют переменный ток от пластин при помощи AC/DC преобразователя в пригодный для запасания в аккумуляторной батарее вид. При движении автомобиля замыкают при помощи микроконтроллера ключ, тем самым подавая питание и включая нагрузку.

Пьезоэлементы, объединённые в кластеры, через преобразователь заряжают аккумуляторную батарею. Батарея и преобразователь помещаются на обод колеса с внутренней стороны. Предусмотрена система диагностики уровня критического износа шины для своевременной замены. Необходимый элемент конструкции — резервный источник питания, предназначенный для запасания электроэнергии и запуска работы датчиков в моменты стоянки транспортного средства.

Необходима интеграция некоторого числа небольших по площади пьезоэлементов, токоведущей магистрали. Рациональна будет интеграция в шину необходимых датчиков. Возможно применение этого источника энергии как в автомобильной шине, так и в любом маломощном колёсном транспортном средстве, таком как электросамокат, электровелосипед, моноколесо, для увеличения их автономности.

Литература

1. Изобретение RU 2018118472. A. https://yandex.ru/patents/doc/RU2018118472A_20180719, электронный ресурс, режим доступа свободный. Дата обращения 03.11.2019.

А.В. Плаксин, маг.; рук. А.И. Тихонов, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С СЕРДЕЧНИКОМ ИЗ АМОРФНОЙ СТАЛИ

В настоящее время идет процесс ужесточения требований к силовым трансформаторам [1–3]. Важнейшим из этих требований является снижение потерь холостого хода (ХХ). Согласно этим требованиям, для того, чтобы выдержать конкуренцию на рынке силовых трансформаторов, необходимо в итоге перейти на класс потерь X_4, что соответствует аналогичному западному стандарту по потерям ХХ AAA_0. В этом случае потери ХХ должны снизиться по сравнению с современными аналогами примерно в 4 раза. Это возможно только при переходе на изготовление сердечников трансформаторов из аморфной стали. При этом перед отечественными трансформаторными заводами стоит задача разработки новых технологий изготовления сердечников, ориентированной на аморфные стали, а также разработка новых методик проектирования, учитывающих особенности конструкции этих трансформаторов.

В настоящее время в ИГЭУ разработана методика проектирования трансформаторов с сердечником из аморфной стали (ТА) и разработаны несколько версий расчетных подсистем САПР ТА, которые апробированы на ООО «Трансформер». Методика проектирования рассчитана на витую стержневую и бронестержневую конструкции магнитопровода с прямоугольным сечением. Расчетная подсистема САПР ТА позволяет осуществить оптимизацию проекта с использованием методов нелинейного программирования на непрерывной модели трансформатора и генетических алгоритмов на дискретной модели. Расчет ведется как по упрощенной инженерной методике, так и по уточненной методике с использованием конечно-элементной модели магнитного поля (модель генерируется автоматически) с учетом наличия технологических зазоров. Поверочный расчет осуществляется как по традиционной инженерной методике, так и в форме имитационного эксперимента на динамической модели в среде Simulink.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 17.06.2015 № 600 «Об утверждении перечня объектов и технологий, которые относятся к объектам и технологиям высокой энергетической эффективности»
2. European Standard EN 50588–1 «Medium power transformers 50 Hz, with highest voltage for equipment not exceeding 36 kV — Part 1: General requirements», June 2015
3. СТО 34.01–3.2-011-2017 «Трансформаторы силовые распределительные 6–10 кВ мощностью 63–2500 кВА. Требования к уровню потерь холостого хода и короткого замыкания». Стандарт организации ПАО «Россети»

П.Н. Калугин, студ.; рук. С.В. Ширинский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЁТ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН МЕТОДОМ ЗУБЦОВЫХ КОНТУРОВ

Расчёт электромагнитных полей электрических машин может проводиться при помощи полевых методов. Эти методы довольно точны, однако обладают одним существенным недостатком: из-за большой размерности задачи каждый расчёт может занимать много времени. Для оптимизации требуется адекватная и быстрая модель электрической машины. Такую модель можно получить, используя метод зубцовых контуров. Этот метод основан на анализе специальной схемы замещения магнитной цепи электрической машины и относится к цепным методам, обеспечивая при этом высокую точность расчета [1].

Для каждой разновидности электрической машины приходится создавать свою модель, изменяя программу расчета. Matlab является широко распространённой и удобной средой математических вычислений, ориентированной на матричные вычисления, поэтому было принято решение использовать данную среду для создания открытых моделей электрических машин по методу зубцовых контуров.

В данной работе метод зубцовых контуров использован для анализа высокоскоростного синхронного генератора с цилиндрическим двухполюсным постоянным магнитом на роторе. Созданная модель позволяет автоматически рассчитывать кривую потокосцепления любой фазы статора при повороте ротора для последующего нахождения ЭДС. На этом этапе было проведено уточнение модели, обеспечивающее хорошее совпадение результатов расчета кривой потокосцепления с результатами полевого расчета для тех же условий. Для этого пришлось модернизировать схему замещения цилиндрического постоянного магнита на роторе, увеличив число параллельных ветвей в его схеме замещения. После этого стало возможным анализировать режимы работы генератора для заданных сопротивлений нагрузки.

Литература

1. **С.В. Ширинский.** Методы анализа электрических машин: учебное пособие // Москва: Издательство МЭИ, 2017.

Pavel Kalugin, student; supervisor Univ.-Prof.
Dr.-Ing. Thomas Sattel (TU Ilmenau, Germany)

DEVELOPMENT OF THE TEST BED CONCEPT FOR PIEZO ACTUATORS MEASUREMENT

Piezoelectric actuator is a solid state linear electric drive, which change its length when powered by electrical voltage. The characteristic property of the piezo actuator is a small change of the length (0,1 % of the piezo actuator nominal length) combined with significant forces. Such actuators are widely used in optical engineering, drivers of capacity measuring devices, mechatronic systems.

Not only a configuration but also a control of the piezoelectric actuator must be modelled for the obtaining of its characteristics. The difficulty in definition of the characteristics results from the nonlinearity of the inverse piezo effect [1]. Parameters of piezo actuators depend whether on power signal or on boundary conditions — the temperature or mechanical preliminary load [2]. The test stand is necessary for the comparison of the model characteristics with the characteristics of the real piezoelectric actuators.

The subject of this work was to develop the draft of the test bed for measurements of piezo actuators with different lengths. The main purpose of the test bed is to measure the following parameters and states: electrical capacity, current intensity, voltage, strength and position (length change). Other necessary functions of the test bed are analyzed and their possible solutions are described in the paper. The mechanics of the test bed is developed in details.

For definition of the influence of the mechanical structure on the measurement range analytical simulations with the help of MATLAB and numerical simulations (FEM) with the help of COMSOL Multiphysics were made and the most suitable dimensions of the test bed were selected. Based on selected configuration the technical drawings were made for the future production of the installation developed.

The developed test bed can be used for measurements of the piezoelectric actuators (d33-effect) with nominal length of not more than 200 mm.

References

1. **Harmut Janocha.** Unkonventionelle Aktoren. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2010.
2. **Patrick Pertsch.** Das Grosssignalverhalten elektromechanischer Festkoerperaktoren. Diss. Technische Universitaet Ilmenau, 2013.

М.А. Плотников, студ.; рук. В.Б. Баль, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫЙ ВЕТРОГЕНЕРАТОР

В настоящее время ветроэнргетика стремительно развивается [1], но у современных ветроустановок есть один существенный недостаток — низкая рентабельность. Применение современных дорогих технологий в ветроэнергетике оборачивается сроком окупаемости в 20 и более лет. Вместе с тем, ветроэнергетика вполне может стать рентабельной. Для этого необходимо отказаться от использования дорогих технологий, сократить применение дорогих материалов, повысить надёжность ветроустановок и сократить эксплуатационные расходы.

Задача может быть решена этой следующим образом. Необходимо использовать низкооборотные многолопастные ветротурбины, изготавливаемые из недорогих материалов, надёжность и срок службы которых выше, а стоимость меньше чем высокооборотных турбин. Использовать низкоборотный генератор с прямым приводом от турбины, что позволяет отказаться от мультипликатора, сложного, дорогого и требующего технического обслуживания устройства. Использовать наиболее простые и надёжные системы управления и преобразования электроэнергии.

В качестве электрогенератора для ветроустановок предлагается использовать вентильно-индукторный генератор [2]. Генератор имеет наиболее простую среди других типов электрических машин конструкцию. Имеет безобмоточный зубчатый ротор без постоянных магнитов, Обмотка статора состоит из простых сосредоточенных катушек.

Работа генератора осуществляется следующим образом. Для возбуждения фаз коммутатор поочерёдно подключает фазы генератора к конденсаторной батарее. Ток и магнитный поток фазы возрастают. Далее коммутатор отключает возбуждённую фазу от батареи и замыкает её накоротко. В это время механическая энергия ветротурбины преобразуется в энергию магнитного поля возбуждённой фазы. Далее коммутатор соединяет фазу с конденсаторной батареей, и накопленная энергия магнитного поля передаётся в накопитель энергии.

Литература

1. **Безруких П.П.** Ветроэнергетика. М.: Интехэнергоиздат, 2014.
2. **Баль В.Б., Плотников М.А.** Индукторная электрическая машина для ветроагрегата. // 2-я научно техн. конф. студ. «Энергетика. Технологии будущего» М.: МЭИ, 2019.

И.А. Кравале, маг.; рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

ПОЛЕВОЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ОБМОТКИ «СЛАВЯНКА»

Согласно теории электрических машин, чем больше фаз имеет машина, тем выше ее энергетические показатели. Использование совмещенных обмоток для электродвигателей позволяет создавать внутри трехфазной машины поле эквивалентное полю многофазной машины. Благодаря этой способности совмещенные обмотки получили большой интерес. В частности моделирование обмотки «славянка» аналитическим методом на основе схемы замещения показало прирост коэффициента полезного действия и коэффициента мощности в сравнении с использованием стандартной трехфазной обмотки [1].

Полевой подход к моделированию электрических машин дает более детальную картину электромагнитных процессов, так как способен учитывать двустороннюю зубчатость, насыщение стали, реакцию токов ротора и реальное расположение катушек обмотки по пазам. В виртуальных экспериментах использовался асинхронный двигатель мощностью 18 кВт, КПД 89,3%, cosφ 0,90 о. е; с номинальной скоростью вращения 1500 об/мин, собственной двухслойной обмоткой, соединенной в звезду, питающейся от сети с линейным напряжением 380 В. Расчеты поля в машине показали, что распределение магнитной индукции вдоль линии зазора, созданного обмоткой «славянка», имеет схожий гармонический состав, что и распределение магнитного поля, созданного оригинальной обмоткой двигателя. Как следствие, у совмещенной обмотки «славянка» не было выявлено значительных преимуществ энергетических показателей при различной нагрузке двигателя.

Дальнейшая работа в этой области предполагает анализ полевых электромагнитных процессов в крупных, высоковольтных и частотно-регулируемых двигателях, использующих в своей основе обмотку «славянка».

Библиографический список

1. **Мощинский Ю.А., Соколова Е.М.** Преимущества и недостатки совмещенной обмотки «славянка» // Электричество. 2018. № 11. С. 23–31.

А.А. Каржевин, асп.; рук. А.И. Тихонов, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СПЕЦИАЛЬНЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В условиях мелкосерийного и штучного производства большую роль играет возможность трансформаторного производства ориентироваться на изготовление специальных трансформаторов. При этом возникает необходимость в разработке моделей для имитации работы трансформатора произвольной конструкции в произвольных режимах работы.

Для создания имитационной модели силового трансформатора была использована система MatLab Simulink SymPowerSystem (рис. 1). Модель основана на схеме идеального трансформатора с учетом потерь в стали. Магнитная система представлена нелинейной цепной моделью, рассчитываемой по методу контурных токов на каждом шаге интегрирования по времени. Магнитные сопротивления ветвей рассчитываются по заданной кривой намагничивания электротехнической стали. Для расчета индуктивностей рассеяния использованы модели магнитного поля. Данная модель может быть адаптирована к трансформаторам любой конструкции.

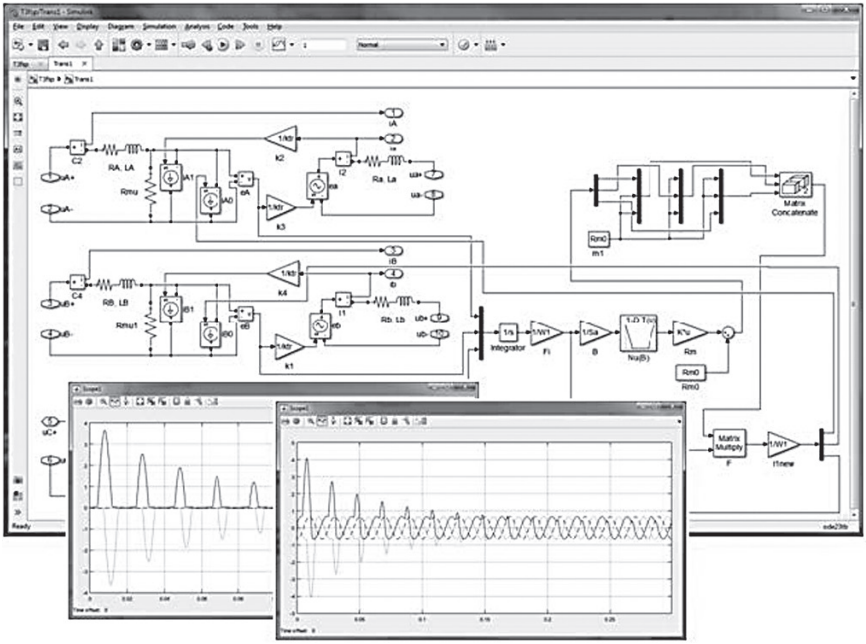


Рис. 1. Имитационная модель трехфазного трансформатора и результаты расчета включения трансформатора на холостой ход и на нагрузку

А.П. Корепов, студ.; рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЧЕРЕДУЮЩИМИСЯ ПАЗАМИ НА РОТОРЕ

Асинхронные двигатели с тяжелыми условиями пуска должны обеспечивать повышенный пусковой момент при хороших энергетических показателях в номинальном режиме. Такие двигатели используются в приводах подъемно-транспортных механизмов (лифтов, кранов, насосов, станков качалок и т.д.).

Обеспечить повышенный пусковой момент при сохранении энергетических показателей позволяет применение чередующихся пазов на роторе. Одна форма пазов обеспечивает повышенные пусковые показатели, а другая форма — хорошие энергетические показатели в номинальном режиме работы.

По методике [1] с изменениями на основе работы [2] был спроектирован и рассчитан трёхфазный шестиполюсный АД мощностью 25 кВт с чередующимися пазами на роторе. Расчетные характеристики обеспечивают требуемые параметры.

Для проверки точности расчёта цепной модели была проанализирована полевая модель АД в Ansoft Maxwell и проведён её расчёт.

Сравнение результатов расчётов по цепной и полевой моделям показало, что номинальные параметры двигателя соответствуют друг другу с отклонениями до 7% и техническому заданию в номинальном режиме, а пусковые параметры, обладающие повышенными показателями, отличаются не более чем на 10%.

Библиографический список

1. Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов. — В 2-х кн./ И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев; Под. ред. И. П. Копылова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1993. — 464 с., ил.
2. **Макаров Л.Н.** Разработка и освоение производства высокоэффективной конкурентоспособной серии асинхронных машин // Дисс. в виде научн. докл. на соискание уч. степени д. т. н. по спец. — Электромеханика и электрические аппараты. — М.: МЭИ, 2006. — 40 с.

И. С. Егоров, студ.; рук. Ю. Б. Казаков, д.т.н., проф.,
Н. А. Морозов, к. т. н., доцент (ИГЭУ, Иваново)

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ДЕМПФЕР С МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТЬЮ

В последнее десятилетие всё больше появляется работ по электромеханическим демпфирующим устройствам с магнитной жидкостью (МЖ). Привлекает возможность управлять силовой характеристикой и эффективностью демпфирования изменением магнитного поля в рабочем зазоре электромагнитного устройства с МЖ. При больших скоростях сдвигового течения вязкость МЖ под действием магнитного поля увеличивается всего на 10–15% относительно вязкости жидкости-носителя.

Существуют демпфирующие устройства, которые должны гасить колебания малой частоты и амплитуды перемещения подвижного элемента демпфера. Известно, что МЖ относятся к реологическим средам с псевдопластичной вязкостью. В области малых градиентов скорости сдвигового течения вязкость МЖ велика из-за её структурирования в магнитном поле. Частицы твердой магнитной фазы образуют цепочечные группы в зазоре электромеханической системы за счёт магнитного диполь-дипольного взаимодействия [1]. Могут возникать и замкнутые кольцевые образования, которые проявляются как слабомагнитные частицы и в сильных магнитных полях разрушаются на линейные структуры.

Результаты моделирования показывают, что с ростом количества частиц в цепочечном агрегате увеличиваются и его магнитные свойства. Однако уже при переходе от 5 частиц до 10 магнитные свойства цепочки возрастают только на 10%, а при дальнейшем увеличении числа частиц магнитное поле структуры уже не изменяется. Поток рассеяния шарообразных частиц в цепочечной структуре достигает 60% при плотном положении.

Эксперименты показывают, что начальное сдвиговое напряжение в технических МЖ пропорционально магнитной индукции внешнего магнитного поля в степени 1,8–2,0. Таким образом, регулируя ток в катушке намагничивания можно изменять в значительном диапазоне силу противодействия смещению подвижного элемента демпфера и при малых амплитудах колебаний эффективно поглощать энергию за счёт структурирования магнитожидкостной среды.

Литература

1. **Казаков Ю.Б.** Управляемые демпфирующие устройства с использованием нанодисперсных магнитных жидкостей / Ю.Б. Казаков, Н.А. Морозов, С.А. Нестеров И.М. Арефьев // ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». — Иваново, 2016. — 148.

М. Диб, асп., Н. Ф. Котеленец, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБНАРУЖЕНИЕ МЕЖВИТКОВОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ФАЗЕ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАТЧИКОВ ТОКА СТАТОРА (MCSA) И ДАТЧИКОВ ВИБРАЦИИ

Анализ сигналов предполагает выявление определенных частотных составляющих, отражающих поведение асинхронной машины в нормальном режиме и при наличии неисправности. Первый этап состоит в получении сигналов от датчиков тока и вибрации. Затем определяют их спектральный состав и его изменение. Появление неисправности в работе машины сопровождается такими физическими явлениями, как увеличение шума, осевых и радиальных колебаний и т.п. При этом изменяются и временные и частотные характеристики электрических и механических величин. Известно несколько методов обнаружения дефектов путем анализа спектров указанных сигналов [1].

В работе проведено сравнительное исследование двух методов обнаружения межвитковых коротких замыканий в фазе статора. Первый метод основан на анализе сигнатур тока двигателя (MCSA), а второй — на анализе сигнатур измерения вибрации. Исследование показало преимущества и недостатки каждого метода, а также позволило определить индекс неисправности для каждого метода. Выбор наиболее экономичного и эффективного метода подтвержден экспериментами на 3-фазном 4-полюсном двигателе мощностью 11 кВт (380 / 220 В).

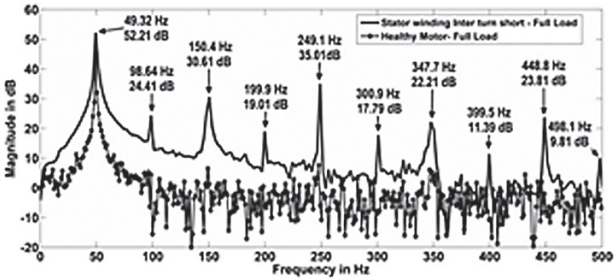


Рис. 1. Сравнение спектров вибрации неисправного (20 к-з. витков (2,5 %)) и исправного двигателей при номинальной нагрузке

Литература

1. **Joksimovic G. M., Penman J.,** «The detection of inter turn short circuits in the stator windings of operating motors», IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 47, no. 5, October 2000.

В.А. Норин, студ.; рук. И.С. Снитько, ст. препод. (ИГЭУ, Иваново)

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДУКТИВНОСТЕЙ РАССЕЯНИЯ СВАРОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Одним из наиболее важных расчетов сварочного трансформатора, от которого требуется высокая точность, является расчет магнитного поля. Он позволяет, в частности, смоделировать работу трансформатора в режиме короткого замыкания и определить усилия, возникающие в обмотках при работе в этом режиме и близких к нему. При этом большое значение имеет точность расчета потоков рассеяния. Под потоком рассеяния понимают поток, не проходящий через сердечник, а замыкающийся через пространство, занятое обмотками, межслоевыми и межсекционными прокладками, воздушное пространство, расположенные вокруг катушек.

Потоки рассеяния обычно малы по сравнению с основным магнитным потоком. Однако допущение о не учёте потоков рассеяния приводит к тому, что коэффициент магнитной связи между катушками будет равен единице, что противоречит физическому смыслу.

В настоящее время предложено множество способов определения индуктивностей рассеяния при известной геометрии сварочного трансформатора. Большинство из них являются аналитическими и реальную геометрию трансформаторов (сложная конструкция магнитопровода и обмоток, способ намотки провода) учитывают с помощью приближенных коэффициентов. Наряду с этими методами используют 2D и 3D моделирование, при котором определяют величины основного магнитного потока и потока рассеяния и из этих параметров определяют индуктивности рассеяния [1].

Математические модели, основанные на существующих методах, имеют довольно невысокую точность, что является основанием для дальнейших поисков возможностей определения параметров рассеяния сварочных трансформаторов.

Предлагаемый метод заключается в применении определенных граничных условий при 3D моделировании сварочного трансформатора, позволяющих рассмотреть только поле рассеяния без учета основного магнитного потока. В результате искомые индуктивности могут быть определены довольно просто и с высокой точностью [2].

Литература

1. **Пайков И.А., Тихонов А.И.** Анализ моделей для электромагнитного расчета силовых трансформаторов // Вестник ИГЭУ. — 2015. — Вып. 3. — С. 45–50.
2. **Снитько И.С., В.А. Норин, Н.Н. Дыдыкина.** Определение потоков рассеяния силового трехфазного трансформатора // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (Бенардосовские чтения): материалы Международной (XX Всероссийской) научно-технической конференции — Иваново: ИГЭУ, 2019. — Т. 1 — С. 3–6.

В.В. Плыткевич, асп.; рук. В.А. Кузьмичёв, к.т.н., доц. («НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕРДЕЧНИКА СТАТОРА ГИДРОГЕНЕРАТОРА ТИПА СВ2-1500/200–88 ПРИ РАЗНЫХ ХАРАКТЕРАХ НАГРУЗКИ

Важным показателем технического состояния и надёжной работы гидрогенератора является уровень вибрации. Контроль вибрации является неотъемлемой частью испытаний гидрогенератора в процессе эксплуатации электрооборудования на ГЭС. При работе гидрогенератора появляется вибрация, имеющая в зависимости от причин возникновения различные составляющие. Магнитную составляющую вибрации можно определить с помощью моделирования.

В работе представлены основные результаты расчёта параметров вибрации для гидрогенератора типа СВ2-1500/200–88. Обмотка генератора двухслойная с дробным числом пазов на полюс и фазу $q=2^{19}/_{22}$. Были рассмотрены следующие режимы работы: холостой ход генератора с возбуждением, режимы нагрузки генератора при $I_я=I_{ном}$ и при $I_я=0{,}5I_{ном}$ на индуктивную, активную, активно-индуктивную, емкостную нагрузки.

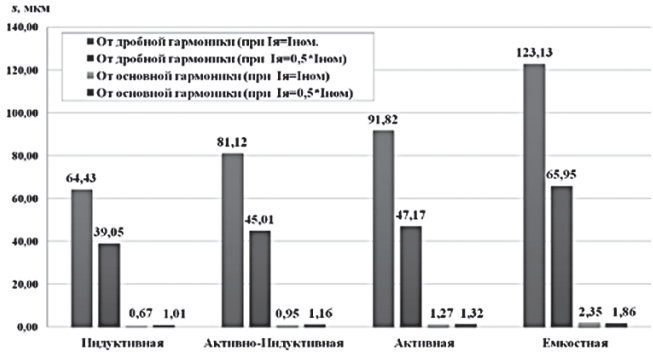


Рис. 1. Диаграмма вибрации от первой гармоники и от субгармоники

Анализ полученных вибрационных характеристик показал, что основной причиной вибрации является субгармоника с порядком 2/11, частотой 18,18 Гц, амплитудным значением индукции около 0,031 Тл, что составляет в зависимости от характера нагрузки не более 5,3% от первой гармоники поля. Она создает самую большую по амплитуде вибрацию, превышающую вибрацию на основной волне поля при 100 Гц.

По результатам расчёта были построены спектрограммы виброперемещения в зависимости от частоты при различных характерах нагрузки. Вибрация, возбуждаемая основной волной поля, значительно меньше вибрации, возбуждаемой дробной гармоникой.

А.Г. Самтанова, студ.; В.В. Рыжов, асп.;
рук. П.А. Дергачёв, к.т.н., ст. преп. каф. ЭМЭЭА (НИУ «МЭИ»)

ПОСТРОЕНИЕ ТРЁХМЕРНОЙ ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Актуальной проблемой эксплуатации мощных турбогенераторов с воздушным охлаждением является пониженная надёжность и отсутствие систем прогнозирования аварийного выхода из строя турбогенераторов. В связи с этим важную роль играет повышение надёжности эксплуатации турбогенераторов и определение основных факторов, влияющих на надежность прогнозирования остаточного ресурса.

Одним из направлений повышения надежности прогнозных моделей становится построение точных тепловых моделей контролируемого оборудования. Сопоставление и анализ измеренных данных и данных, полученных по результатам моделирования, позволяет проводить более глубокий и точный анализ возможных неисправностей в системе.

В работе рассматривается создание тепловой модели статора турбогенератора. Полная математическая модель включает различные физические подсистемы с мультифизическими связями. Работа строится на базе точных трёхмерных моделей с использованием современного апробированного программного обеспечения COMSOL Multiphysics, в котором для расчёта используется метод конечных элементов. Исследуются основные факторы и номинальные режимы работы, влияющие на надёжность и остаточный ресурс мощных турбогенераторов.

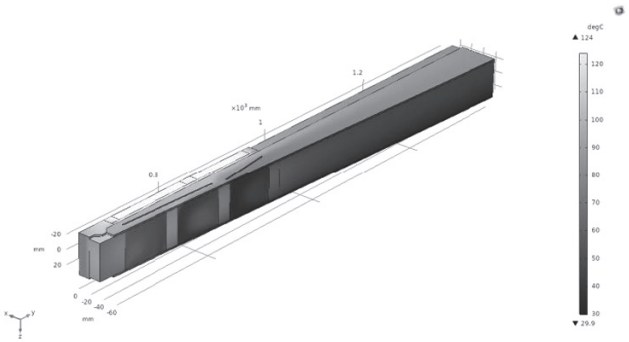


Рис. 1. Распределение температуры в пазу статора

Литература

1. COMSOL Multiphysics®. www.comsol.com. COMSOL AB, Stockholm, Sweden.

Е.В. Щетинин, асп; рук. А.А. Кирякин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ВИХРИВЫХ ТОКОВ НА ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

В настоящее время синхронные высокооборотные генераторы с возбуждением от постоянных высококоэрцитивных магнитов (ВТПМ), в связи с возможностью увеличения мощности при уменьшении массогабаритных параметров, эффективно применяются в авиационной, судостроительной и газовой отрасли. В газовой отрасли, например, такие машины можно применить для газотурбинных установок в качестве основного источника энергии для привода запорной арматуры и управления, если нет возможности подвода линий электропередач или другие варианты менее экономичны. В связи с этим появилась необходимость увеличения мощности таких генераторов, а вследствие, и учет дополнительных потерь на вихревые токи и влияние их на переходные процессы ВТПМ. Это обосновано повышением рабочей частоты вращения, увеличением объема меди обмоток статора и магнитной индукции высококоэрцитивных постоянных магнитов. Причем, существенные потери возникают не только в сердечнике статора, но и в роторе машины [1].

Если снижение потерь в статоре генератора может производиться достаточно известными методами, например, с помощью жидкостного охлаждения, то снижение потерь в роторе с постоянными магнитами такой вид охлаждения трудновыполним [2]. Также ситуацию усугубляют некоторые свойства постоянных магнитов, например одним из них может быть размагничивание магнита при нагреве выше допустимого, например NdFeB. К тому же возникающие вихревые токи могут разогреть магниты и снизить их энергетические показатели.

Учет магнитных потерь от вихревых токов возможен при расчете ВТПМ в программной среде Comsol Multiphysics, где известна функция учета потерь на вихревые токи в постоянных магнитах. В докладе приводятся результаты исследований магнитных полей и потерь от вихревых токов для ВТПМ с использованием высококоэрцитивных магнитов NdFeB для полюсов ротора.

Литература

1. **Данилевич Я.Б., Антипов В.Н., Кручинина И.Ю., Хозиков Ю.Ф.** Турбогенераторы малой мощности для децентрализованных систем энергообеспечения. — СПб.: Наука, 2009. — 102 с.
2. **Осин И.Л.** Синхронные электрические двигатели малой мощности. — М.: Издательский дом МЭИ, 2006. — 216 с.

Секция 22.
ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И КОМПОНЕНТОВ

Председатель секции — Серебрянников Сергей Владимирович
Секретарь секции — Тихонов Антон Иванович

А.Э. Морозова, студ.; рук-ли А.Г. Корякин, к.т.н.,
ст. преподаватель; Д.С. Холодный, к.ф-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ В ГРОЗОЗАЩИТНОМ ТРОССЕ

Электрические подвесные кабели на воздушных линиях связи применяются давно. В эру широкого распространения оптических кабелей (ОК), возникает тенденция к применению их не только в линиях связи, но и монтажа их на линиях электропередач. Современная кабельная промышленность в текущий момент времени расширяет ассортимент данных типов кабельных изделий. [1].

Подвесные кабели подразделяют на следующие типы: самонесущие; встраиваемые в грозозащитный трос (80% — 85% мирового рынка кабельных изделий).

Основная часть работы посвящена расчёту параметров оптических кабелей марки ОКГТ. В качестве базовой для расчёта выбрана конструкция ОК, аналогичная конструкции фирмы Alcatel семейств S1-S5, изготавливаемой с начала 2000 годов.

Результаты расчёта ОК выбранной конструкции кабеля сравниваются с данными в технических документах фирмы Alcatel.

Был проведены расчёты кабелей, заключающиеся в определении электрического сопротивления; теплового сопротивления; допустимого непрерывного постоянного тока, а также кратковременного электрического тока, разогревающего трос от 20°С до 200°С (режим короткого замыкания) [2,3].

Дополнительно были исследованы физико-механические характеристики стальных оцинкованных проволок марки «АС3», применяемых для производства ОК марки ОКГТ в качестве силового элемента.

Литература

1. **Мальке Г., Гессинг П.** Волоконно-оптические кабели: основы проектирования кабелей, планирование сетей. Перевод с немецкого. 2-е изд., перераб. и доп., — Новосибирск, ООО «Издательский дом «Вояж», 2001. — 352 с.
2. **Акопов С.Г., Мещанов Г.И., Пешков И.Б.** «Кабельная техника» № 12–13/1997. «Конструирование и производство оптических кабелей в России».
3. **Корякин А.Г., Ларин Ю.Т., Месенжник Я.З., Русаков А.А.** Расчет прочности силовых электрооптических погружных кабелей// Главный энергетик. — 2015. — № 9. — с. 24–30.

Чуньюй Суй, маг.; рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ»МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

В процессе строительства сетей связи предпочтительным выбором стал оптический кабель (ОК), который может быть установлен на линиях электропередачи разных классов с постоянным значительным растягивающим усилием [1]. Такие ОК называют ADSS-кабель.

Кабель ADSS имеет силовые элементы, состоящие из двух основных частей, центральной и периферийной. Силовые элементы обеспечивают несущую способность: стеклопластиковый стержень в центре кабеля и обмотка из арамидных или стеклянных нитей под внешней оболочкой [2]. Эти части выдерживают растягивающие механические напряжения при эксплуатации ОК в течение срока службы [3].

В данной работе проведены исследования механических параметров стеклопластикового стержня марка FRP ROD 2.2 и арамидных нитей марка Кевлар 47 9480DEX. Определено относительное удлинение при растяжении и предел прочности при разрыве [4]. Рассчитан модуль упругости. Указанные материалы используют при производстве ОК марки ОСД 4×8А 25Т.

Полученные в ходе исследований данные использованы для расчета механических параметров ОК.

Литература

1. **Боев М. А., Зин Мин Латт.** Стойкость к растягивающему усилию оптических кабелей для широкополосного доступа //Вестник МЭИ 2017, № 3, с. 67–72.
2. **Серебрянников В. С., Боев М. А., Холодный С. Д.** Методы испытаний в электроизоляционной и кабельной технике. LAP- LAMBERT Academie Publishing, 2018. — 251 с.
3. **Суй Чуньюй, Боев М. А.** Оптические кабели для работы на линях электропередачи. Тезисы докладов XXV международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, НИУ МЭИ, 2019, — 339 с.
4. **Боев М.А., Хейн Мьят Ко.** Оптический кабель зоновой связи для прокладки на опорах высоковольтных линий электропередачи // журнала «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение» 2019 г, № 4 (55), С. 70–75.

А.О. Мясников, студ.; рук-ли А.Г. Корякин, к.т.н., ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»); О.В. Длютров, к.т.н., технический директор (АО «МКФ»)

РАСЧЁТ НЕМЕТАЛЛИЧЕКОГО САМОНЕСУЩЕГО ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СЕТЕЙ СВЯЗИ ПО ЭКСПЛУАТИРУЮЩИМСЯ ЛИНИЯМ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

На сегодняшний день существуют различные варианты прокладки оптических кабелей (ОК), со своими преимуществами и недостатками [1].

Наиболее рациональным является прокладка оптических кабелей по уже имеющимся эксплуатируемым линиям электропередачи (ЛЭП).

Основными конструкциями ОК для прокладки по ЛЭП являются: ОК встроенный в грозозащитный трос (ОКГТ), ОК самонесущий неметаллический (ОКСН), ОК навиваемый на фазный провод (ОКНН) [2].

Самонесущая неметаллическая конструкция наиболее распространена для прокладки ввиду следующих достоинств: данные типы ОК не вносят дополнительных потерь в ЛЭП, не требуется отключения ЛЭП для обслуживания кабельных изделий, возможность монтажа без отключения ЛЭП.

Для обеспечения высокого уровня надежности при эксплуатации ОК требуются расчеты механических характеристик и ресурсных возможностей ОК на срок службы не менее 25 лет.

Правильное управление данными параметрами позволяет получить конструкцию кабеля ОКСН, способную работать во всем диапазоне внешних механических, климатических, биологических, электромагнитных и других нагрузок установленный срок службы 25 лет.

В работе содержатся расчетные и экспериментальные данные по определению начального и конечного модуля упругости, модуля вытяжки, а также аппроксимация величины остаточной деформации по результатам испытаний на ускоренное старение в течение 45 дней на срок службы 25 лет для кабеля ОКСН.

Литература

1. **Мальке Г., Гессинг П.** Волоконно-оптические кабели: основы проектирования кабелей, планирование сетей. Перевод с немецкого. 2-е изд., перераб. и доп., — Новосибирск, ООО «Издательский дом «Вояж», 2001. — 352 с.
2. Стандарт ПАО «Россети» № 34.01–21.1-001-2017. Распределительные электрические сети напряжением 0,4–110 кВ. Требования к технологическому проектированию.

А.И. Никитин, асп.; рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СПЛАВНЫХ (FBT) ОПТИЧЕСКИХ РАЗВЕТВИТЕЛЕЙ С КОНФИГУРАЦИЯМИ ДЕЛЕНИЙ 1×3, 1×4 И 1×5

На сегодняшний день оптические кабели являются одними из самых востребованных сред для передачи информации при организации сети связи, где отдельные кабели могут быть соединены с помощью оптических разветвителей по программе «Оптика до дома» [1].

В настоящее время при строительстве сетей связи для соединения оптических кабелей чаще применяют планарные (PLC) оптические разветвители, за счет того, что они могут обеспечить конфигурацию деления MxN (M-1,2; N-2,4,8,16,32,64) по сравнению со сплавными (FBT) оптическими разветвителями, которые могут обеспечить лишь конфигурацию Mx^2 (M-1,2), а для обеспечения любой другой конфигурации необходимо сваривать несколько таких оптических разветвителей по древовидной схеме [2].

Однако уменьшенное затухание и возможность дробного деления мощности в сплавных (FBT) оптических разветвителей иногда являются ключевыми факторами выбора разветвителей этого типа [3].

В рамках данной работы были проведены исследования и эксперименты по изготовлению сплавных (FBT) оптических разветвителей с конфигурациями делений 1×3, 1×4 и 1×5.

Проведенное исследование показало, что возможно сплавлять между собой не только 2 оптических волокна, а также 3, 4 и 5, что позволяет изготовить сплавные (FBT) оптические разветвители с конфигурациями делений 1×3, 1×4 и 1×5, а за счет уменьшенного затухания и возможности дробного деления мощности применение таких сплавных (FBT) оптических разветвителей целесообразно.

Список литературы

1. **Никитин А.И., Боев М.А.** Технология изготовления сплавных оптических разветвителей. // 22-я Всероссийская молодежная научная школа-семинар «Актуальные проблемы физической и функциональной электроники». — 2019 г. — с. 39, г. Ульяновск
2. **Базакуца П.В., Боев М.А., Никитин А.И.** Исследование спектральных характеристик оптических разветвителей. // Всероссийская конференция по волоконной оптике. Спецвыпуск «Фотон-Экспресс-Наука 2019» — 2019 г. — с. 178, г. Пермь.
3. **Никитин А.И., Боев М.А.** Влияние температуры на затухание в сплавных оптических разветвителях для соединения оптических кабелей // XXV Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов. Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. — 2019 г. — с. 343., г. Москва.

А.С. Божедомова, студ.; рук. А.В. Бабич, к.т.н. (НИУ «МИЭТ», Москва)

ВЛИЯНИЕ In НА ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХАЛЬКОГЕНИДНОГО СОЕДИНЕНИЯ $Ge_2Sb_2Te_5$

Халькогенидный полупроводниковый материал $Ge_2Sb_2Te_5$ активно используется в современных устройствах, принцип работы которых основан на изменении функциональных свойств, вследствие фазовых превращений. Повысить конкурентоспособность и улучшить характеристики таких устройств возможно за счет оптимизации материалов системы Ge-Sb-Te с помощью легирования. Предполагается, что введение In в $Ge_2Sb_2Te_5$ будет происходить по механизму замещения Ge и сможет повлиять на свойства материала [1]. Таким образом, целью данной работы являлось исследование влияния In (с концентрациями от 0,09 до 3 атомных процента) на термические свойства $Ge_2Sb_2Te_5$.

Для изучения термических процессов был использован метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Измерения запрессованных в алюминиевые тигли синтезированных материалов проводились в потоке азота при скорости нагрева 10 градусов в минуту на калориметре DSC-50 (Shimadzu). Кроме того, с использованием метода рентгенофазового анализа (Bruker D8 Advance) было исследовано влияние примеси In на структурные особенности синтезированных материалов.

Можно отметить, что при введении малых концентраций индия (0,09–0,49 атомных процента) на полученных ДСК кривых наблюдаются пики, которые отсутствуют на повторных ДСК кривых. Это позволяет говорить о фазовых переходах и релаксации структуры в процессе нагрева. Также на ДСК кривых был определен пик плавления при температурах выше 600°C. В ходе многократных измерений было выявлено, что при увеличении концентрации примеси в материале, температура плавления незначительно уменьшается от 623 до 620°C. Таким образом, введение атомов In оказывает заметное влияние на рентгенограммы, что свидетельствует об изменении структуры материала $Ge_2Sb_2Te_5$, и, следовательно, может повлиять на оптические и электрофизические характеристики материала, но при этом не ухудшает его термические свойства и стабильность.

Литература

1. **Шерченков А.А.** Влияние легирования In на свойства тонких пленок $Ge_2Sb_2Te_5$, применяемых в устройствах фазовой памяти // Вестник РГРТУ. 2012. № 4. Вып. 42.

Н.Ю. Корчагин, студ.; рук. С.В. Серебрянников, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ СВОЙСТВ ИЗОЛЯЦИИ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

Турбогенераторы являются одними из самых мощных машин в электротехнике. На их долю приходится значительная доля выработки электрической энергии, поэтому их безотказная работа является необходимым условием бесперебойного электроснабжения. Известно [1], что большее число отказов турбогенераторов связано с выходом из строя электрической изоляции обмоток статора.

Электрическая изоляция обмоток статора турбогенератора работает в условиях постоянной повышенной температуры и вибрации. Во время работы в таких тяжелых условиях у изоляции постепенно ухудшаются свойства вплоть до полного выхода изоляции из строя. Для того чтобы продлить её срок службы, необходимо проводить исследования и выявлять причины отказов. В данной работе было проведено исследование остаточных свойств изоляции, т.е. свойств изоляции, которая отработала свой срок службы или же вышла из строя.

За основу для исследования была взята широко применяемая [2] термореактивная изоляция типа «Монолит-2», использовавшаяся в обмотке статора вышедшего из строя турбогенератора с воздушным охлаждением мощностью 165 МВт. В процессе исследования были измерены диэлектрические характеристики изоляции, а так же коэффициент теплопроводности λ при различных значениях температуры. В результате для коэффициента теплопроводности были получены следующие данные: в интервале температур от 50 до 100 °С, λ = (0,208–0,225) Вт/м·К.

Литература

1. **Кузнецов Н.Л.** Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2006.
2. **Огоньков В.Г., Серебрянников С.В.** Электроизоляционные материалы и системы изоляции для электрических машин, Книга 2. Издательский дом МЭИ, 2018

И.А. Волощук, студ; Д.Ю. Терехов, асп.;
рук. А.А. Шерченков, д.т.н., проф. (НИУ «МИЭТ», Москва)

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕТВЕЙ ИЗ СУСПЕНЗИЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ К НИМ

Разработка гибких термоэлектрических генераторов (ТЭГ) вызывает значительный интерес в последнее время. Метод трафаретной печати (ТП) из суспензии является одним из перспективных и дешевых методов создания гибких ТЭГ, однако ветви, сформированные таким способом, имеют ряд существенных недостатков, а именно: не отработана технология формирования ветвей из суспензий, не определен оптимальный состав связующего [1,2]. Кроме того, одной из проблем данного метода является обеспечение электрического контакта с низким сопротивлением. В связи с этим целью данной работы является отработка технологии изготовления термоэлектрических ветвей (ТЭВ) на основе твердых растворов Bi_2Te_3, полученных методом трафаретной печати, а также отработка технологии создания и исследование параметров электрических контактов к ним.

Для создания ТЭВ, порошок термоэлектрического материала смешивался со связующим, после чего формировались экспериментальные образцы методом ТП через металлическую маску. В качестве связующего использовались цинкфосфатный цемент и раствор водного щелочного раствора силиката натрия с различными концентрациями в суспензиях. Было определено оптимальное связующее и его концентрация в суспензии.

Исследования показали, что использование проволочного электрического контакта, сформированного непосредственно в трафарете перед заливкой суспензии, сопровождается деградацией характеристик контакта со временем.

В связи с этим, формирование электрического контакта осуществлялось методом электрохимического осаждения. В качестве осаждаемого металла использовались Ni и Cu.

Полученные контакты легко смачиваются припоями и обладают хорошей адгезией к ТЭВ. Результаты исследования температурных зависимостей удельного сопротивления показали, что формируемые контакты являются омическими, а удельное сопротивление образцов с контактами, сформированными методом электрохимического осаждения, оказались ниже, чем сопротивление образцов с контактами из медной проволоки.

Литература

1. **Kim M.K., Kim M.S., Lee S.** Wearable thermoelectric generator for harvesting human body heat energy // Smart Materials and Structures. –2014. — V. 23 № 10. — p. 1–7.
2. **Siddique A. R. M., Rabari. R., Mahmud S**. Thermal energy harvesting from the human body using flexible thermoelectric generator (FTEG) fabricated by a dispenser printing technique // Energy. — 2016. — V. 115. — p. 1081–1091.

Р.Е. Ушаков ст.; Д.В. Беспалов ст.; А.А. Мочалов асп.
(МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва)

ОБРАБОТКА ДИХЛОРМЕТИЛЕНОМ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СЕТОК, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДАМИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аэродинамические сетки и хонейкомбы — устройства, нуждающиеся в поверхности с наименьшей шероховатостью [1], однако изделия, полученные при помощи аддитивных технологий, отличаются поверхностью с большим коэффициентом шероховатости [2]. Для повышения эффективности использования аэродинамических сеток возможно улучшить качество поверхности посредством снижения ее шероховатости. Механическая обработка данной структуры — трудоемкий и долгий процесс, а применение химических веществ обладает рядом технологических особенностей. В данной работе рассмотрен способ постобработки изделий, полученных методами аддитивных технологий, а именно обработка дихлорметиленом.

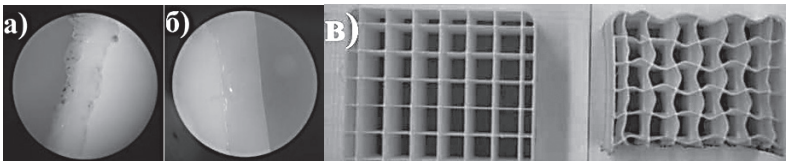


Рис. 1 Срез стенок хонейкомба до обработки (а); после обработки (б); (в) — необработанный образец (слева), обработанный образец с толщиной стенки 0,5 мм (справа)

В качестве растворителя используется 99% раствор хлористого метилена (CH_2Cl_2) в воде. Снижение шероховатости характеризуется растворением тонкого слоя полилактида (PLA), что приводит к увеличению площади сечения проточной части каждой ячейки. В процессе эксперимента опытные образцы погружались в резервуар, наполненный растворителем (рис. 1 а, б). В процессе экспериментов было обнаружено, что ввиду наличия внутри стенок хонейкомбов остаточных напряжений и щелей, при взаимодействии растворителя со стенками хонейкомба происходит изменение их формы, что приводит к браку изделия (рис. 1 в). Ввиду этого было выявлено ограничение на толщину в 1 мм для стенок спрямляющих сеток, позволяющее избежать данного дефекта в процессе постобработки. При обработке необходимо учитывать, что время погружения изделия напрямую влияет на качество поверхности.

Литература

1. **Шлихтинг Г.** Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974.
2. **Мочалов А.А., Ушаков Р.Е.** Экспериментальное исследование аэродинамических сеток с квадратной ячейкой, изготовленных с помощью аддитивных технологий // Будущее машиностроения России: Сб. докладов 12-й Всерос. конф. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019.

И. А. Швед, студ.; рук. Н. А. Черненко, ст. преп. (НГТУ, Новосибирск)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФОРМОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Значительное влияние на механическую прочность керамических материалов оказывает пористость материала. Эта зависимость может быть описана формулой Рышкевича или формулой Бальшина [1], в которых одной из переменных является кажущаяся плотность керамических образцов. Для оценки влияния параметров формования, а именно, формовочной влажности глинистого сырья и давления прессования на кажущуюся плотность керамических образцов из глинистого сырья, был составлен план эксперимента, согласно которого был изготовлен 21 образец при изменении формовочной влажности глинистого сырья от 5,6 до 12,4% и изменении давления прессования — от 16,6 до 33,4 МПа. Перед определением кажущейся плотности, образцы были высушены при температуре 120 ^{0}С для удаления физически связанной воды.

В результате обработки данных была получена функция, описывающая зависимость кажущейся плотности (Y) от давления прессования (X_2) для различных значений формовочной влажности глинистого сырья (X_1):

$$Y=1392,5 + 45,5X_1 + 8,5X_2.$$

На рис. 1 представлено влияние параметров формования на кажущуюся плотность глинистого сырья.

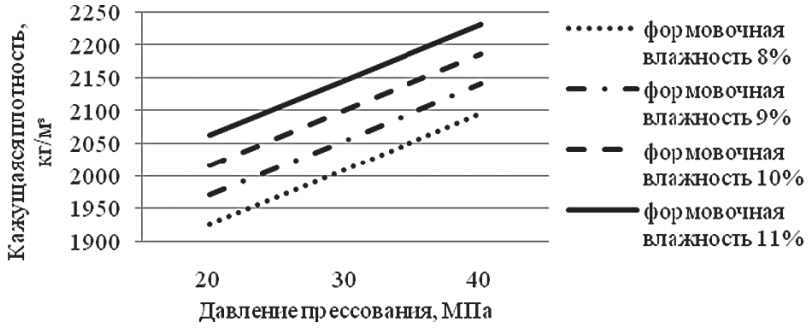


Рис. 1. Влияние параметров формования на кажущуюся плотность

Полученные зависимости могут быть использованы при усовершенствовании технологии производства проволочно-керамических резисторов.

Литература

1. **Масленникова Г.Н.** Керамические материалы. М.: Стройиздат, 1991.

И.Т. Журакулов, студ.; А.О. Якубов, асп.;
рук. А.А. Шерченков, д.т.н., проф. (НИУ «МИЭТ», Москва)

ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК $Ge_2Sb_2Te_5$ НА УДЕЛЬНОЕ КОНТАКТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Халькогенидные полупроводники $Ge_2Sb_2Te_5$ (GST225) являются наиболее распространенными для использования в устройствах фазовой памяти (PCM). Однако, несмотря на активное изучение, остается ряд не решенных технологических задач PCM-устройств, в частности оптимизация технологии формирования контактных слоев GST-электрод с низким контактным сопротивлением. Следует отметить также, что многократное термоциклирование может приводить к ухудшению контакта GST225-металл, что будет влиять на стабильность работы устройства. В связи с этим целью данной работы является исследование влияния термообработки и фазового состояния тонких пленок GST225 на удельное контактное сопротивление.

Исследование контактного сопротивления было проведено методом длины переноса (Transmission Line Method, TLM) [1]. Для этого были изготовлены специальные структуры, электроды которых расположены линейно и имеют различное расстояние относительно друг друга. Слой GST225 (~130 нм) был сформирован методом магнетронного распыления. В качестве материалов электродов в работе были использованы Al и TiN/W. Для изучения влияния фазового состояния на контактное сопротивление, исследуемые структуры подвергались термообработке при температурах от комнатной до 400 °C в атмосфере аргона.

Вольт-амперные характеристики для всех структур во всем температурном диапазоне были линейные и симметричные, что подтверждает омичность контактов. Результаты измерений показали, что при фазовом переходе из аморфного состояния в кристаллическое наблюдается резкое падение удельного контактного сопротивления более чем на 4 порядка (от $1{,}3\cdot10^5$ до $1{,}2\cdot10^1$ Ом·см^2) для электродов из TiN/W. При этом для образцов с алюминиевыми контактными площадками не происходит резкого падения удельного сопротивления. Это может быть связано с процессом диффузии Al в слой GST225.

Таким образом в ходе данной работы было оценено влияние фазового состояния тонких пленок $Ge_2Sb_2Te_5$ на удельное контактное сопротивление к различным материалам электродов.

Литература

1. **Reeves G.K., Harrison H. B.** Obtaining the specific contact resistance from transmission line model measurements // IEEE Electr. Dev. Leter. 1982. V. EDL-3, №. 5.

Д.В. Пепеляев, асп., Д.Ю. Терехов, асп.,
рук. А.А. Шерченков, д.т.н., проф. (НИУ «МИЭТ»)

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТА ТЕРМОЭДС ТОНКИХ ПЛЕНОК ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Эффективность современных энергогенерирующих систем не превышает 40%. Использование даже части бесполезно теряемого тепла, например, за счет термоэлектрической генерации электроэнергии, приведет к увеличению эффективности преобразования энергии и снижению вредных выбросов в атмосферу [1]. Однако в виду больших геометрических размеров объемные термоэлектрические генераторы (ТЭГ) не всегда могут быть применены, в связи с чем актуальным направлением является разработка технологии получения гибких пленочных термоэлектрических генераторов.

Целью данной работы является исследования тонких пленок термоэлектрических материалов, полученных методом вакуумного осаждения.

В качестве материала для осаждения использовались теллурид содержащие соединения.

Исследование температурных зависимостей удельного сопротивления проводилось в температурном диапазоне от комнатной до 300°С, со скоростью нагрева 5°С/мин. при фиксированном напряжении равном 0,1 В.

Результаты показали, что тонкие пленки в исходном состоянии обладают высоким удельным сопротивлением. С увеличением температуры происходит уменьшение удельного сопротивления.

Измерения коэффициента термоЭДС тонких пленок проводились в два этапа. Первое измерение проводилось после нанесения тонкой пленки, а второе было проведено после термообработки при температуре 300°С. Значение коэффициента термоЭДС практически не отличается в широком диапазоне градиента температур.

Таким образом были проведены исследования температурных зависимостей удельного сопротивления и коэффициента термоЭДС тонких пленок.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (проект №18-79-10231).

Литература

1. **Wang Y., Yang L., Shi X.-L., Shi X., Chen L., Dargusch M.S., Zou J. and Chen Z.-G**. Flexible Thermoelectric Materials and Generators: Challenges and Innovations. Advanced Materials. 2019. Vol. 31. P. 1–47.

А.А. Денисюк, асп.; рук. М.Н. Пиганов, д.т.н., проф.
(Самарский университет-НИУ, г. Самара)

ВЫБОР ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ И ОТБРАКОВКИ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ МИКРОСБОРОК

В данной работе приведены результаты прогнозирования стабильности и отбраковки потенциально ненадежных прецизионных тонкопленочных конденсаторов (ТПК) (класс точности — 0,5).

Процесс изготовления прецизионных ТПК характеризуется совокупностью следующих основных операций: напыление тонкопленочной структуры, термообработка, электротренировка, подгонка емкости к номинальному значению, герметизация. Повышение эффективности контроля может быть достигнуто введением контроля и отбраковки на каждой операции. Исследовались ТПК на основе монооксиси кремния, полученные методом термического напыления в вакууме.

Установлено, что информацию о стабильности ТПК может нести величина отклонения диэлектрической проницаемости $\Delta\varepsilon$ от характерного (равновесного) для данного материала значения в тонкопленочном состоянии, $tg\delta$ или величина отклонения тангенса угла диэлектрических потерь $\Delta tg\delta$ от наименьшего значения, характерного для данного материала, сопротивление изоляции диэлектрика $R_{из}$, произведение $\Delta\varepsilon \cdot tg\delta$. Экспериментально установлено, что в качестве информативного параметра на операции термообработки возможно использование таких величин, как относительное необратимое изменение емкости $(\frac{\Delta C}{C})_{необр}$, величина изменения $tg\delta$, величина ТКЕ.

На операции электротренировки возможно использование таких информативных параметров, как число пробоев m, диаметр первого кратера $\Phi_{кр1}$, максимальный диаметр кратера Φmax, напряжение первого пробоя $U_{пр1}$, отношения $\frac{U_{пр1}}{\Phi_{кр1}}$, $\frac{U_{тр.к}-U_{пр.1}}{m}$. Здесь $U_{тр.к}$ — конечное значение напряжения тренировки.

Информацию о качестве ТПК на операции подгонки могут нести скорость спада тангенса угла диэлектрических потерь, величина изменения $tg\delta$ при подгонке, отношение изменения $tg\delta$ при подгонке к диапазону подгонки $\frac{\delta C}{C_0}$, величина $tg\delta$ после старения за сутки.

Для контроля качества на заключительной операции — герметизации микросборки — эффективно использование таких параметров, как $R_{из}$, $tg\delta$, величина необратимого изменения емкости послё герметизации $(\frac{\Delta C}{C})_{герм}$.

А.В. Семенов, студ.; рук. С.В. Серебряников, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ВВОД ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ СВЕРПРОВОДИМОСТЬ

В настоящее время достигнуты значительные успехи в получении высокотемпературной сверхпроводимости.

В связи с этим появляется необходимость разработки и производства высоковольтных вводов [1] для коммутации сверхпроводящего оборудования, способных работать в среде жидкого азота. В данной работе рассматривается модель высоковольтного ввода, разработанная для токоограничивающих устройств на основе высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП ТОУ) [2]. В отличие от серийного ввода с RIN-изоляцией (Resin Impregnated Nonwoven — пропитанный смолой нетканый материал), для достижения необходимой холодостойкости были применены особые технические решения, позволяющие вводу выдержать перепад температур от –200°С в нижней части до +10°С в верхней точке. Испытания ввода проводились при расположении нижней части ввода в криостате с жидким азотом. После всех проведенных испытаний состояние ввода осталось неизменным, что подтверждает огромный запас по холодостойкости данного вида изоляции и надежность конструкции.

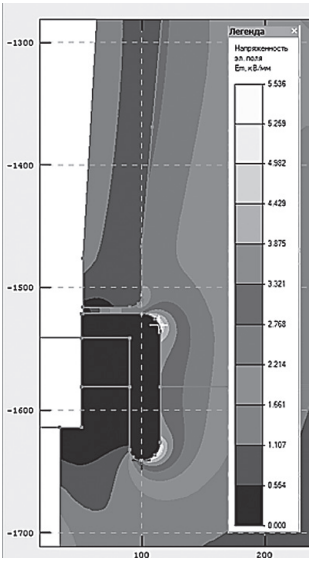


Рис. 1. Результат расчета электрической напряженности поля узла установки ввода.

Литература

1. **Славинский А.З.** Физика диэлектриков: в 2 т. Т 2 / А. З. Славинский. — Москва: Научтехлитиздат, 2007.
2. **Jeong Il Heo**. Design of Current Leads for a High Voltage Superconducting Apparatus / Jeong Il Heo, Jonggi Hong, Seokho Nam, Seyong Choi, Hyoungku Kang// IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, VOL. 23, NO. 3, JUNE 2013.

И.В. Ворников, асп.; рук. А.А. Сутченков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ РЕЗИСТИВНЫХ КАБЕЛЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА КОНТАКТА

Резистивный кабель — нагревательный кабель, токопроводящие жилы которого выполнены из материалов с высоким электрическим сопротивлением, с целью выделения тепла. Сегодня данные кабели являются ключевым элементом современных систем электрообогрева.

Как и во всех электрических цепях, так и в подобной системе потенциально слабым местом является электрических контакт — муфтовое соединение нагревательных кабелей. Ввиду непосредственного назначения резистивных кабелей, их соединения подвергаются высоким температурам во время эксплуатации. Снижение контактного сопротивления (температуры соединения) — один из важных моментов при производстве нагревательных систем на базе резистивных кабелей.

Цель работы: определить типа соединения резистивных кабелей с меньшим контактным сопротивлением.

Переходное сопротивление зависит от многих факторов, главные из которых — микрорельеф, усилие сжатия и материал контактной поверхности. [1] Для определения типа контакта с меньшим сопротивлением рассмотрены следующие модели соединений: гильза с трехточечным обжатием; тот же соединитель с концентрированным (одним) обжатием; обжим двумя последовательно расположенными медными лентами по 4 мм; обжим двумя медными лентами по 6 мм; обжим одной медной лентой 6 мм. Определяющим для степени обжатия являлось минимальное разрывное усилие соединения — 35 Н.

С помощью миллиомметра определен тип соединения резистивных кабелей с наименьшим (среди собранных образцов) сопротивлением контакта — 0,172 мОм, — медная, луженая гильза с трехточечным обжатием. Сопротивление обжимки двумя медными лентами по 6 мм — 0,428 мОм, — максимальное значение полученных моделей.

Выводы: контактное сопротивление типов соединений, в которых отсутствует вдавливание соединителя в жилу, сопровождающееся диффузией металлов и их совместной деформацией, отличается высоким сопротивлением более чем 2-кратное увеличение).

Полученные результаты служат предпосылкой тестирования моделей в условиях открытой прокладки (в воздухе), для определения температуры поверхности соединителя без оболочки муфты.

Литература

1. **Комаров А.А., Яковлев В.Н.** «Электрические контакты» М.:СамИИТ, 2001.

Секция 23.
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

Председатель секции — Румянцев Михаил Юрьевич
Секретарь секции — Соломин Александр Николаевич

Нгуен Ван Тай асп.; рук. В.Ю. Кириллов, д.т.н., проф. (НИУ МАИ) г. Москва

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАСС ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖГУТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С УЧЕТОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Электрические жгуты электротехнических комплексов летательных аппаратов прокладываются по определенным трассам, которые проходят по внутренним участкам конструкции корпуса. Общая длина проводников бортовой сети летательных аппаратов может достигать тысяч метров и составлять значительную часть массы летательного аппарата. Решением одной из важных задач при проектировании бортовой сети является нахождение оптимальных трасс прокладки электрических жгутов с минимальной суммарной длиной проводников.

При формировании электрических жгутов, помимо масса-габаритных требований и особенностей конструкции летательного аппарата, необходимо руководствоваться требованиями электромагнитной совместимости проводников, и кабелей, объединенных в жгуты. Из-за наличия емкостных и индуктивных связей между проводниками бортовой сети возникают перекрестные электромагнитные помехи, которые могут ухудшать качество функционирования бортовых электротехнических комплексов. Проводники и кабели бортовой сети, объединенные в жгуты, не должны создавать нежелательных перекрестных электромагнитных помех [1].

Разработанный алгоритм позволяет находить трассы прокладки жгутов с минимальной суммарной длиной проводников в конструкции летательного аппарата и учитывать требования электромагнитной совместимости проводников в жгутах. На основе теоретического и экспериментального анализа уровней перекрестных помех проводников бортовой сети, определяется количество жгутов, в которых объединяются только совместимые проводники.

При проектировании трасс жгутов, с учетом особенностей конструкции летательного аппарата составляется топологическая модель в виде ненаправленного графа [2]. Трассы жгутов, состоящие из трасс центральных жгутов и жгутов боковых ответвлений, первоначально определяются на топологической модели с помощью разработанного алгоритма и затем осуществляется их преобразование в трассы для реальной конструкции летательного аппарата.

Литература

1. **Henry W.** Ott/ Electromagnetic compatibility. Engineering. Wiley. A. John Wiley &Sons, inc., Publication. 2009 843 p. 2.
2. **Свами М, Тхуласираман К.** Графы сети и агоритмы. Издательство «Мир», 1984 г. 240 с.

Н.С. Варламов, асп.; рук. С.Г. Сугаков, д.т.н., проф.;
(ФГБОУ ВО «ВГУВТ», Н. Новгород)

РАЗРАБОТКА БЕСТРАНСФОРМАТОРНОГО НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

В настоящее время на объектах водного транспорта идет широкое внедрение систем с регулируемым электроприводом переменного тока, обеспечивающий повышение производительности и плавности регулирования исполнительных механизмов. Одной из важнейших частей данных систем является преобразователь частоты.

Особенностью режимов работы судовой электроэнергетической системы является периодические отклонения частоты и амплитуды напряжения от номинальных значений. Изменение параметров напряжения влияет как на протекание электромагнитных процессов в силовой части полупроводникового преобразователя, так и на работу системы управления. В результате возникает изменение моментов коммутации вентиля, обусловленное относительным сдвигом и изменением амплитуд напряжений в фазах силовой части и соответствующих напряжений в системе управления.

Предлагается бестрансформаторный преобразователь частоты [1], который при формировании выходного напряжения с заданными параметрами в любой момент времени обеспечивает подключение выходных зажимов к наиболее подходящему напряжению питающей сети (рис. 1) вне зависимости от отклонения амплитуды, частоты и формы кривой сетевого напряжения.

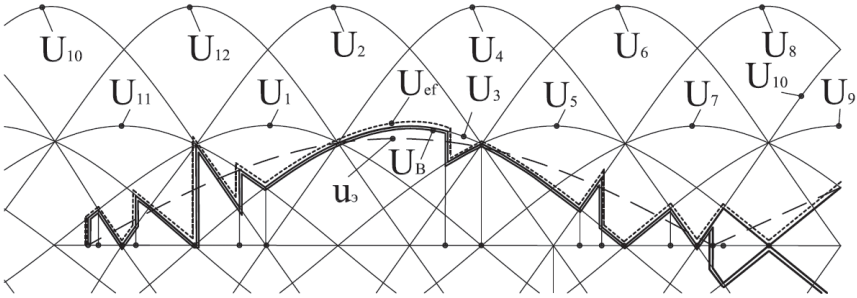


Рис. 1. Временная диаграмма формирования выходного напряжения

Литература

1. **Сугаков В.Г., Хватов О.С., Варламов Н.С.** Бестрансформаторный непосредственный преобразователь частоты. — патент RU 2691968, H02M 5/27.

Тин Аунг Зо, асп., рук. Г.С. Мыцык, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МАГНИТНОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ОБМОТКАМИ В КОНКРЕТНОМ ТРАНСФОРМАТОРНО-ВЫПРЯМИТЕЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ

Трансформаторно-выпрямительные устройства (ТВУ-$m_{1Э}$) широко используются для преобразования трёхфазного напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока при одновременном согласовании уровней входного и выходного напряжений. Одним из направлений улучшения электромагнитной совместимости ТВУ как по их выходу, так и по входу, является использование способов структурной их организации, обеспечивающих повышение пульсности (числа пульсаций-$m_{1Э}$) выпрямленного напряжения u_d (t). В [1] рассмотрены параметрические особенности при практической реализации ТВУ с пульсностью выпрямленного напряжения $m_{1э}$=12 (ТВУ-12). Для суммирования токов каналов используется трансфильтр на выходе мостовых выпрямителей (*МВ*1 и *МВ*2). В [1] проводятся результаты экспериментов, полученные на основе имитационного компьютерного моделирования (ИКМ) без учета индуктивностей рассеяния обмоток трансформатора L_s (коэффициент магнитной связи $K_{мс}$=1).

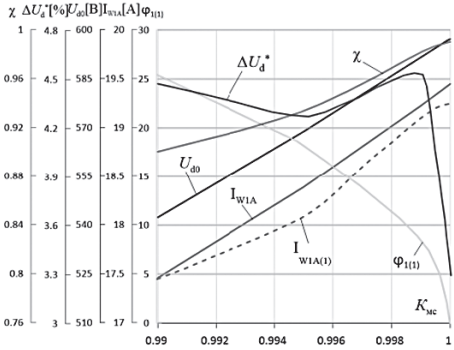


Рис. 1. Зависимости показателей качества ТВУ-12 с ТФ от коэффициента магнитной связи между обмотками трансформатора

В настоящей работе рассматривается ТВУ-12+ТФ, но с учетом L_s ($K_{мс}$ ≠1).Увеличение параметра L_s, с одной стороны, приводит к некоторому уменьшению искажений потребляемого от генератора тока, а с другой стороны, — к увеличению отстающего фазового сдвига основой гармоники тока генератора (относительно его напряжения). В результате с увеличением параметра L_s входной коэффициент мощности χ ухудшается, постоянная составляющая выпрямленного напряжения U_{d0} уменьшается, а уровень его пульсаций возрастает — рис. 1.

Литература

1. **Мыцык Г.С., Тин Аунг Зо.** Об особенностях практической реализации трехфазного трансформаторно-выпрямительного устройства с пульсностью выпрямленного напряжения $m_{1э}$=12. Международная научно-техническая конференция «Возобновляемая энергетика, энерго- и ресурсосбережение» 4–6 октября 2018 г., Изд.-о IEEEXplore. С. 215–222.

Хейн Зо Хтет, асп., Тин Аунг Зо, асп., рук. Г.С. Мыцык, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОДНОФАЗНЫЙ ИНВЕРТОР ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТИ С АМПЛИТУДНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

При использовании солнечной энергии в качестве первичного источника напряжения постоянного тока выступает солнечная батарея (СБ), выполненная на основе фотоэлектрических преобразователей. Структурные особенности СБ позволяют по новому подойти к синтезу инверторов напряжения (ИН) за счёт использования оптимизированных уровней напряжения СБ для формирования выходного напряжения квазисинусоидальной формы u_2 (t), которое в этом случае имеет вид сигнала с амплитудно-импульсной модуляцией — АИМ [1]. Напряжение u_2 (t) в данном варианте его аппроксимации характеризуется следующими параметрами: числом равновременных интервалов квантования на его полупериоде — a; числом уровней (ступеней) его квантования U_{2mi} — N на четверти периода (где $i = 1 \div N$ — номер уровня); числом p, определяющих число одинаковых уровней в области максимальных значений напряжения u_2 (t). Особенность такой формы заключается в том, что значения всех N уровней оптимизированы по минимуму коэффициента гармоник, причём решению этой задачи способствует введение между полуволнами напряжения u_2 (t) нулевой паузы в один интервал квантования. Синтезированная таким образом форма напряжения позволяет улучшить массогабаритные показатели выходного фильтра ИН. В докладе приводятся результаты структурно-алгоритмического синтеза (САС) однофазного ИН (ОИН) повышенной мощности. При использовании располагаемой недостаточно мощной полупроводниковой элементной базы процедура САС осуществляется на основе использования принципа многоканального преобразования (МКП).

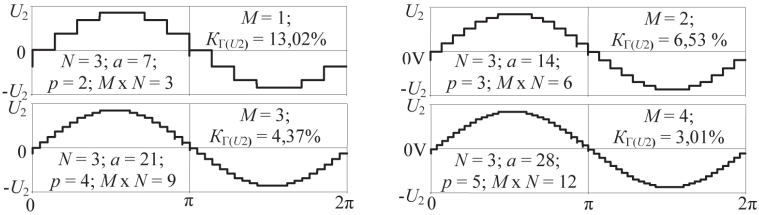


Рис. 1. Выходные напряжения N-уровневых ОИН с АИМ с МКП (при M = 1;2;3;4).

Литература

1. **Моин В.С.** Стабилизированные транзисторные преобразователи. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 376 с.

Хейн Зо Хтет, асп., рук. Г.С. Мыцык, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СИНТЕЗ ФОРМЫ НАПРЯЖЕНИЯ С АМПЛИТУДНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ДЛЯ ОДНОФАЗНЫХ ИНВЕРТОРОВ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА ЕГО КОЭФФИЦИЕНТА ГАРМОНИК

В докладе рассматривается проблема структурно-алгоритмического синтеза (САС) преобразователей (инверторов) напряжения (ИН) постоянного тока в квазисинусоидальное напряжение 220±10% частоты 50 Гц повышенной мощности (порядка 1 МВА). Первичным источником энергии является солнечная батарея (СБ), синтезированная на основе фотоэлектрических преобразователей. Структурные особенности СБ позволяют по новому подойти к процедуре САС ИН — к реализации возможности многоуровневого их исполнения как в однофазном (ОИН), так и в трёхфазном (ТИН) вариантах. В работе решается чисто математической задача синтеза выходного напряжения многоступенчатой формы по критерию минимума его коэффициента гармоник — $К_{Г\,(U)}$. Задача сводится к определению уровней квантования этого напряжения при заданном числе равновременных интервалов квантования — *a*, числе уровней квантования на четверти периода напряжения — *N*. Для расширения числа возможных решений задачи используются ещё два параметра — пауза в один интервал квантования напряжения в областях перехода его через нулевые значения и число *p*, определяемое одним или несколькими одинаковыми уровнями квантования напряжения в области максимального её значений на полупериоде и характеризующее степень «уплощения» этой кривой.

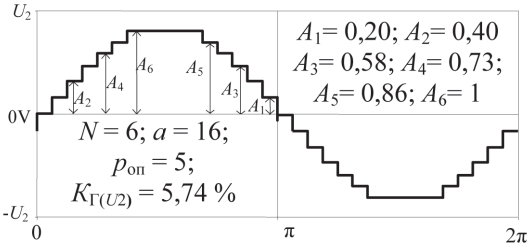


Рис. 1. Вид сигнала с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ) в ОИН (N = 6; a = 16; с оптимальным значением параметра, p оп = 5).

Литература

1. **Мыцык Г.С.** Основы теории структурно-алгоритмического синтеза источников вторичного электропитания. — М.: Моск. энерг. ин-т, 1989. — 109с.

Д.А. Шумилин, студ.; рук. М.Ю. Румянцев, к.т.н., с.н.с. проф.;
конс. А.В. Сизякин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ГЛАВНЫХ РАЗМЕРОВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

При проектном расчете электрических машин, в том числе и электрических генераторов с возбуждением от постоянных магнитов для высокоскоростных турбоагрегатов, приходится задаваться большим количеством независимых переменных [1]. В их числе находятся магнитная индукция в воздушном зазоре и линейная нагрузка. Произвести выбор этих переменных, не обладая опытом проектирования электрических машин, затруднительно, более того, для высокоскоростных машин (40–300 тыс. об/мин) практически полностью отсутствует достаточное количество статистических данных.

В рассматриваемых электрических машинах уровень индукции в воздушном зазоре зависит от материала, из которого выполнены магниты и от размеров магнитной системы машины. Ротора электрогенераторов, как правило, выполняют с постоянными магнитами из редкоземельных металлов. Чаще всего постоянные магниты выполнены из SmCo. Такие магниты имеют хорошую пологую прямую спинку петли гистерезиса [2]. Однако, существенным недостатком этого магнитного материала является малый предел текучести, поэтому для сохранения прочности ротора необходимо на магнит устанавливать бандаж с натягом.

В работе, рассмотрены двухполюсные машины с цилиндрическим магнитом, предложен способ определения главных размеров электрического генератора на основе теоретического вывода уравнения распределения магнитной индукции в воздушном зазоре. Было проведено сравнение полученного уравнения с результатами моделирования численным методом и установлено, что погрешность расчета составляет не более 5%. Последующим моделированием установлено влияние размагничивающей линейной нагрузки, а также конфигурации обмотки статора на величину магнитной индукции в воздушном зазоре.

Литература

1. **Сугробов А.М., Русаков А.М.** Проектирование электрических машин автономных объектов: учебное пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
2. **Грузков С.А., Останин С.Ю., Сугробов А.М., Сульдин А.В., Таланов Л.Л., Тыричев П.А.** Магнитные материалы, обмоточные, монтажные и бортовые провода для систем электрооборудования летательных аппаратов: Учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2005.

А.В. Иванов, асп., рук. А.Н. Соломин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЯГОВОГО ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Современной тенденцией развития тяговых электродвигателей является расширение их области применения. Наряду с мобильными средствами, в которых тяговый электропривод применялся традиционно, значительно увеличивается количество появляющихся новых марок электромобилей и автомобилей с гибридной силовой установкой, разрабатывается техника специального назначения. В составе тяговых электромеханических систем находят применение электрические машины различных типов. В качестве объекта проводимых исследований был выбран вентильный двигатель на базе индукторной машины с обмоткой возбуждения.

Целью исследования являлось выявление такого сочетания геометрических и обмоточных данных тягового вентильного индукторного двигателя (ТВИД), которое позволило бы обеспечить выполнение предъявляемых требований при наилучших значениях выбранных критериев оптимальности, в качестве которых были рассмотрены масса и КПД. Были разработаны алгоритм оптимизационного расчета и подпрограмма, формирующая комплекс исходных данных и являющаяся надстройкой к программе анализа электромагнитных процессов, протекающих в ТВИД, разработанной ранее на кафедре ЭКАО и ЭТ НИУ «МЭИ». Программа реализует математическую модель электромагнитных процессов, основанную на методе эквивалентных схем замещения электрической и магнитной цепи [1], уточнение которых для выбранного объекта исследования производилось исходя из сравнения результатов базового расчета с программой, основанной на методе конечных элементов.

Для заданного базового варианта тягового вентильного индукторного электродвигателя было проведено исследование влияния на массу и КПД основных геометрических размеров: диаметра ротора, длины пакета, ширины и высоты зубцов ротора и статора, воздушного зазора, сечения массивных элементов магнитопровода (втулки и корпуса) при обеспечении заданной мощности и ограничениях на коэффициент заполнения паза статора, окна под обмотку возбуждения с учетом технологических возможностей изготовления. Полученные результаты могут быть использованы для уточнения методики проектного расчета.

Литература

1. **Русаков А.М., Окунеева Н.А., Соломин А.Н., Шатова И.В.** Математическая модель электромагнитных процессов в вентильных двигателях. // Вестник МЭИ, 2007. — № 3. с. 33–39.

С.Н. Решетняк, студ.; рук. Б.Ю. Васильев, к.т.н., доц. (СПГУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ГЕНЕРАЦИИ АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В ходе научных исследований рассмотрены различные типы систем генерации автономных электроэнергетических систем:

— синхронный генератор с диодным выпрямителем;

— асинхронный генератор с диодным выпрямителем;

— асинхронный генератор с матричным преобразователем частоты;

— асинхронный генератор с активным выпрямителем.

Цель работы заключается в выполнении технико-экономического обоснования лучшей системы генерации и исследовании ее характеристик при работе в составе автономной электроэнергетической системы карьерных самосвалов.

В ходе исследований было установлено, что генераторы с диодными выпрямителями характеризуются отсутствием возможности регулирования напряжения в шине постоянного тока, низким коэффициентом мощности диодного выпрямителя и другими энергетическими недостатками. Асинхронный генератор с матричным выпрямителем решает все указанные проблемы, но из-за отсутствия явновыраженной шины постоянного тока не позволяет подключать дополнительные устройства, например, внутренний накопитель или тормозное устройство.

В ходе исследований установлено превосходство системы асинхронный генератор — активный выпрямитель относительно других систем генерации по следующим характеристикам:

— повышенная совместимость генератора и выпрямителя;

— стабильность постоянного напряжения в шине постоянного тока;

— энергетическая развязка нагрузки и генератора;

Дополнительно, использование системы асинхронный генератор — активный выпрямитель дает возможность:

— разгрузить асинхронный генератор от мощности искажений и мощности несимметрии;

— реализовывать энергосберегающие режимы работы асинхронного генератора и дизельной установки.

— регулировать возбуждение асинхронного генератора за счет управления входными токами и напряжениями активного выпрямителя.

Выполнено моделирование системы асинхронный генератор — активный выпрямитель при работе системы генерации в номинальном режиме и показана эффективность энергосберегающего режима работы, который обеспечивает повышение коэффициента мощности активного выпрямителя и снижение напряжения в шине постоянного тока для снижения нагрузки.

Д.А. Рыбаков, асп.; рук. С.М. Нехамин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА ПЛАВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПЕЧНОЙ НАГРУЗКИ

Регулирование мощности электропечей может осуществляться различными способами: изменением питающего напряжения без изменения формы напряжения; изменением способа подключения нагрузки к сети; включением последовательно с нагрузкой нелинейных элементов, сопротивление которых может изменяться [1].

На практике очень часто находят применение трехфазные регуляторы переменного напряжения (в нагревательных устройствах, для управления асинхронными двигателями и др.). При коммутации трехфазных цепей форма напряжения и тока нагрузки зависит от величины угла регулирования α и от схемы соединения тиристорных элементов [2].

Предлагаемая система плавного регулирования (рис. 1) может быть осуществлена за счет встречно-параллельного включения тиристоров с группой однофазных трансформаторов, соединенных по схеме «открытый треугольник»

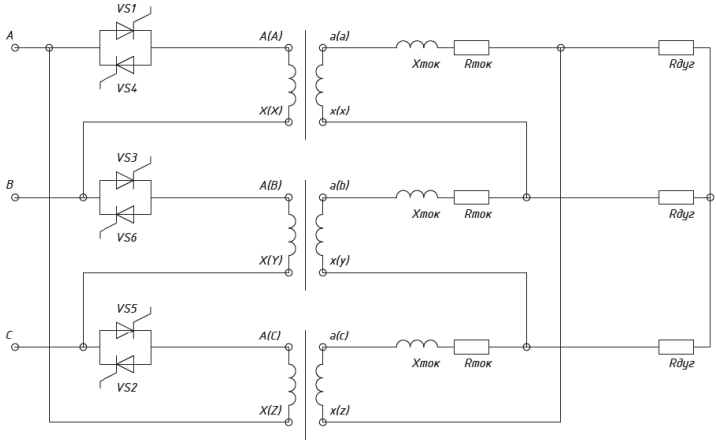


Рис. 1. Предлагаемая система плавного регулирования напряжения электропечной нагрузки

Литература

1. **Яров В.М.** Источники питания электрических печей сопротивления. Чебоксары: ЧГУ им. И. Н. Ульянова, 1982.
2. **Руденко В.С.** Преобразовательная техника. Киев: Головного издательского объединения «Вища Школа», 1983.

Т.О. Авцынова, студ.; рук. А.В. Берилов, ст. пр. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАТИМЫМ СТАТИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

С развитием малой энергетики (ветровой, солнечной и т.д.) растет количество распределённых генерирующих сетей, как в отдаленных областях, так и в районах с централизованными сетями, но имеющими частые перебои электропитания. В таких системах важным звеном, согласовывающим всех потребителей, подключенных к общей сети, с источниками, являются управляемые полупроводниковые преобразователи с определенными алгоритмами управления. В связи с этим изучение и разработка алгоритмов управления статическими преобразователями, является актуальной темой для исследования.

При проектировании преобразователей, обеспечивающих отдачу энергии в сеть, важным фактором является согласованность работы источника с сетью, чтобы обеспечить работу потребителей с заданным коэффициентом мощности — генерировать требуемую активную и реактивную мощность, в зависимости от режима работы сети, без ухудшения параметров и качества генерируемой энергии. Это достигается как схемотехническими решениями, так и разработкой соответствующих алгоритмов управления статическими преобразователями. Для этого на этапе проектирования необходимо провести исследования с использованием методов математического компьютерного моделирования и разработать алгоритм управления, соответствующий заданным режимам работы, после чего выбрать рациональное количество датчиков для его реализации с учетом предъявляемых требований.

Основной целью работы является разработка алгоритма управления обратимым статическим преобразователем на базе трехфазной мостовой транзисторной схемы. Проведены исследования влияния структуры и алгоритма управления на основные показатели качества электроэнергии, отдаваемой в сеть.

Исследования проводились с помощью компьютерной модели, построенной в программе MATLAB/Simulink. Программа реализует математическую модель системы, включающей преобразователь с системой управления; первичный источник электроэнергии, представленный источником постоянного напряжения; и трехфазную сеть, представляющую собой три идеальных источника синусоидального напряжения. Разработанная модель позволяет исследовать статические и динамические процессы в системе и перейти к выбору элементной базы для реализации макета.

А.Е. Маслов, асп., А.М. Нестеров, асп., О.А. Колмакова, асп., рук. А.В. Сизякин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И УКОРОЧЕНИЯ НА ИНДУКТИВНОСТИ ОБМОТОК СТАТОРА ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

В настоящее время для обеспечения удаленных потребителей электроэнергией применяются микротурбинные энергоустановки. В таких установках используются электрические машины (ЭМ), работающие на высоких частотах вращения. Высокоскоростные ЭМ нашли применение также в другой области — компрессорах, используемых, например, для систем кондиционирования. Среди высокоскоростных машин, работающих на частотах более 60 тыс. об /мин, распространенным вариантом являются безвальные синхронные машины с постоянными магнитами (СМПМ).

Индуктивность обмотки статора влияет на характеристики машины как в генераторном, так и в двигательном режимах работы. По этой причине актуальной задачей исследования стало определение индуктивности обмотки и возможностей её снижения, выполненное аналитическим методом с использованием программы MathCad (Lmathcad) и моделированием в программе Altair Flux (Lflux).

Индуктивность обмоток статора прямо пропорциональна сумме пазовой, главной и лобовой проводимостей [1]. По причине того, что при расчете Lflux моделирование было проведено в двумерном пространстве, составляющая, связанная с лобовой проводимостью, с целью сравнения не учитывалась при использовании обоих методов. Аналитический метод расчета был реализован с использованием программы MathCad и заключался в вычислении проводимостей пазов и немагнитного зазора, с учетом которых с помощью закона Ома для магнитной цепи и других расчётных соотношений [2] была определена индуктивность для различных конфигураций обмоток. Результаты расчёта для двух конфигураций приведены в таблице 1.

Табл. 1. Сравнение результатов расчета индуктивности

q	L mathcad, Гн	L flux, Гн	Разница, %
1	0.01652	0.01829	9,7
2	0.01132	0.01088	3,9

Литература

1. **Балагуров В.А.** Проектирование специальных электрических машин переменного тока. // М.: Высшая школа, 1982. — 272 с.
2. **Dr. Duane Hanselman.** Brushless Permanent Magnet Motor Design Second Edition // Magna Physics Publishing, 2006. — 441 c.

А.И. Власова, студ.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СИНХРОННОГО ГИСТЕРЕЗИСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ

В настоящее время огромное количество разнообразных технологических и производственных агрегатов и машин используются в химической, текстильной и смежных с ними отраслях техники и промышленности. Для привода их рабочих органов оптимальным является многодвигательный индивидуальный электропривод. В нём один преобразователь электроэнергии и одна система управления обеспечивают работу группы электродвигателей, каждый из которых приводит во вращение один рабочий орган. Рабочие органы, как правило, имеют большие моменты инерции, работать должны синхронно с высокой стабильностью вращения при переменных моментах нагрузки на валу. Оптимальным при таких условиях является управляемый гистерезисный электропривод в режиме электрического синхронного вала [1].

Гистерезисный электропривод позволяет сохранять постоянную частоту вращения вала при изменении момента нагрузки — это важное преимущество данного типа электропривода перед другими.

Новизна и перспективы использования результатов подтверждается материалами исследовательских и проектных работ ведущих профильных организаций, в частности, ФГУП «НПЦАП», «ВНИИСВ» и др.

Личный вклад авторов состоит в следующем:

- обзор и анализ литературных источников по тематике исследования, проектно-конструкторских решений в области систем электроснабжения и электропривода механизмов и агрегатов рассматриваемого назначения;
- расчёт и исследование прецизионного управляемого гистерезисного электропривода промышленного технологического механизма для применения в режиме взаимосвязанного электрического синхронного вала в составе машины нового поколения по скоростному формованию химических волокон и выпуску из них углеродных химических нитей.

Высокоточный привод на основе гистерезисного двигателя позволит увеличить точность работ и качество выходного продукта в химической, текстильной и смежных с ними отраслях техники и промышленности, где необходима высокая точность вращения вала.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ГФЕН Китая в рамках научного проекта №19-58-53025 ГФЕН-а и №18-58-53047 ГФЕН-а.

Литература

1. **Орлов И.Н., Никаноров В.Б., Селезнёв А.П., Шмелёва Г.А. П**роектирование гистерезисных двигателей на ЭВМ. — М.: МЭИ. 1991. 128 с.

Р.И. Рамазанова, К.Д. Урванцев, студенты;
рук. А.И. Рудаков, д.т.н., проф. (КГЭУ, Казань)

СОЛНЕЧНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ОСНОВЕ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Современные способы получения энергии серьезно загрязняют окружающую среду. И многие исследователи видят выход в разработке солнечных космических электростанций. СКЭС включает в себя: солнечную батарею; ректенна, преобразующая СВЧ — излучения в электрический ток; излучатели или лазерные установки; системы автоматического регулирования.

Мы рассмотрели возможность передачи электроэнергии с помощью лазеров прямой наводки. Когерентный луч с большой плотностью энергии облегчает прием луча и его преобразование в электричество. Но высокая концентрация энергии делает установку крайне небезопасной. Передача электроэнергии с помощью радиоволн сверхчастот имеет значительно больше преимуществ, чем лазерные установки. Они не поглощаются атмосферой, не отражаются наносферой. Эффективно преобразуются с помощью ректенн, а также являются более безопасными [2].

Поступающая энергия, переданная с помощью СВЧ — излучения, может быть вычислена из уравнения передачи Фрииса по формуле (1) [1]:

$$P\,(\text{пр}) = PGG\,(\text{пр})\,\lambda^2/\,(4\pi R)^2 \quad (1)$$

где P (пр) — мощность на выходе приемной антенны, P — мощность передатчика, G — Коэффициент усиления передающей антенны, G (пр) — Коэффициент усиления приёмной антенны, R — расстояние между антеннами СКЭС, λ — длина волны СВЧ — излучения.

Предположим, что мощность передатчика равна 1ГВт, коэффициенты усиления приемной и передающей антенн равными 100 дб и 80 дб; длина волны 12.25 см; расстояние 36000 км. Мощность будет равна 73,4 МВт.

Преимущества: экономия средств на передачу и приём электрической энергии; фотоэлектрические панели будут получать в среднем в восемь раз больше света; независимость от погодных условий и положения оси планеты; отсутствие проблем с массой конструкции и их коррозией [1].

Недостатки: огромные параметры антенны; опасность излучения; большие потери энергии при передаче, высокая себестоимость проекта [2].

Литература

1. **Ванке В.** СВЧ-электроника — перспективы в космической энергетике. — Электроника:// НТБ, 2007, № 5, с. 98.
2. **Ванке В.А., Лопухин В.М., Саввин В.Л.** Проблемы солнечных космических электростанций.// — Успехи физических наук,// Декабрь 1977, т. 123, вып. 4, с. 633.

А.О. Орлов, студ.; рук. В.С. Баженов, ст. преподаватель (ИГЭУ, г. Иваново)

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ГЕРМЕТИЗАТОРА НА РАБОЧИЙ ПЕРЕПАД ДАВЛЕНИЙ

Одним из основных этапов проектирования магнитожидкостного герметизатора (МЖГ) является расчёт магнитной цепи. Исходными данными при проектировании МЖГ являются: диаметр вала, скорость его вращения, рабочий перепад давлений. [1].

В данной работе производился расчёт МЖГ для установки выращивания монокристаллов кремния. Был спроектирован магнитожидкостный герметизатор со следующими параметрами: диаметр вала 50 мм. Скорость вращения вала 25 об/мин. МЖГ предназначен для герметизации вакуума 10–5 Па, при передаче вращательного движения в камеру.

На этапе проектного расчёта [2] определены оптимальные параметры герметизатора, которые составили: шаг зубца b=4 мм, величина площадки при основании зуба t=0,4 мм, угол при основании α=45°. Величина рабочего зазора δ=0,2 мм выбиралась из технологических требований и конструктивных соображений. В качестве материала магнитопровода герметизатора использовалась стали марок: Сталь 3, с величиной индукции магнитного насыщения 2,1 Тл и Сталь 20Х13 с индукцией магнитного насыщения 1,78 Тл. В качестве источника магнитного поля использовались анизотропные феррито-барриевые магниты марки 25БА170.

По результатам проектирования было проведено численное исследование полученного герметизатора методом конечных элементов в программе FemmLab. Была получена картина распределения магнитной индукции под зубцом. На основе данных можно подтвердить вывод о том, что полученная конструкция герметизатора является оптимальной в качестве узла герметизатиции установки по выращиванию монокристаллов.

Литература

1. **Сайкин М. С.** Магнитожидкостные герметизаторы технологического оборудования: Монография. — СПБ.: Издательство «Лань», 2017.
2. **Орлов Л.П., Фертман В.Е.** Принципы расчёта и конструирования магнитожидкостных уплотнений // Магнитная гидродинамика. — 1980. — N 4.

С. Шокри, студ.; рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОЦЕССОВ И ПОЛЕЙ В МАГНИТОЖИДКОСТНОМ ГЕРМЕТИЗАТОРЕ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ АЭЛТК-114

Работа посвящена исследованию электромагнитных и тепловых полей торцевого магнитожидкостного герметизатора МЖГ [1] вращающегося вала установки электронно-лучевой сварки АЭЛТКА-114. Она направленна на получение новой, модернизированной конструкции МЖГ.

Важным этапом разработки является узел охлаждения установки. Изучение изменение температуры магнитной жидкости с ростом температуры непосредственно в самой вакуумной камере. Цель работы заключается в том, что нужно разработать МЖГ с полыми полюсными наконечниками под охлаждение. А также провести исследование этого МЖГ с водным и азотным охлаждением. С этой целью рационально использовать современные методы компьютерного моделирования на основе специализированных программных комплексов, одним из которых является COMSOL Multiphysics, позволяющий осуществлять расчёт температурных процессов нагрева. А также в программном комплексе ELCUT осуществляется расчет магнитных полей.

Исходные данные для расчета: диаметр вала d=15 мм, объем камеры V= 2,4 м^3 толщина стенки камеры m= 20 мм, величина рабочего зазора δ=0,1 мм, шаг зубца b=3 мм, величина площадки t=0,3 мм и угол при основании α=45°. Магнитопровод МЖГ сделан из стали 20 и индукцией насыщения B_s=2,2 Тл и напряженностью магнитного поля H_c=50 0кА/м. Постоянное магнитное поле образуется из наборных постоянных магнитов неодим-железо-бор (NdFeB) в форме платин П15×10×5 в количестве 5 штук.

Исследование выполнено на модели, разработанной в двухмерной осесимметричной постановке, на примере вакуумной камеры с источником тепла. И показало, что, при достижении высоких температур сварки без системы охлаждения t = 1800C^o магнитная жидкость достигает критических температур tкр = 150C^o и выше начинает расслаиваться. А с охлаждением она держится в пределах рабочей температуры t=20÷100C^o

Полученные результаты показали на перспективность использования предложенной модели, обеспечивающую высокую энергетическую эффективность и экономичность.

Литература

1. **Сайкин М.С.** Магнитожидкостные герметизаторы технологического оборудования: Монография. — СПб.: Издательство «Лань», 2017. — 136 с.

Секция 24.
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Председатель секции — Курбатов Павел Александрович
Секретарь секции — Ерохина Екатерина Сергеевна

Е.В. Конюшенко, студ.; рук. К.В. Крюков, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА РЕГУЛЯТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ЛИНЕЙНОГО ГЕНЕРАТОРА, РАБОТАЮЩЕГО В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

В настоящее время для получения электрической энергии в основном используют не возобновляемые источники, однако использование этих источников загрязняет окружающую среду. В связи с этим стараются внедрить альтернативные источники энергии.

В работе рассмотрено устройство для увеличения эффективности отбора энергии от волны с помощью линейного генератора. При высоте волн в 2 м мощность достигает 80 кВт/м [1]. Самым эффективным способом, является прямое преобразование механической энергии волны в электрическую при помощи линейного генератора. Напряжение на выходе линейного генератора изменяется не только по амплитуде, но и по частоте, поэтому для согласования с сетью переменного тока необходимо применение согласующих устройств, позволяющих стабилизировать напряжение и частоту на выходе генератора [2].

Повышение эффективности линейного генератора осуществляется при помощи электронных регуляторов, которые потребляют ток емкостного характера. Одной из актуальных задач является разработка системы управления для регулятора на базе управляемого выпрямителя, позволяющая повысить эффективность линейного генератора, а также оптимизировать отбор энергии при различных типах волн.

В результате работы проведено компьютерное моделирование, а также были рассчитаны оптимальные параметры элементов силовой части регулятора, которые позволяют отбирать большую мощность волны и передавать ее в сеть. Также проведено исследование режимов работы регулятора с гистерезисным контроллером и с системой управления на базе abc/dq преобразования. Созданы: электрические схемы отдельных узлов регулятора, 3D модель регулятора и ТЭО эффективности внедрения предлагаемой разработки.

Литература

1. Сайт Википедия [Электронный ресурс]: Энергия волн океана. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Энергия_волн_океана. (дата обращения: 28.02.2019).
2. **A.Z. Annuar, D.E. Macpherson, D.I. M. Forehand and M.A. Mueller,** Optimum power control for arrays of direct drive wave energy converters, // 6th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2012), Bristol, 2012, pp. 1–6.

Н.А. Сабайкин, студент; рук. М.Г. Кисилев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛЯТОРОМ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В настоящий момент основными потребителями электрической энергии являются нелинейные нагрузки, которые в значительной степени ухудшают ее качество. В связи с этим становится актуальным разработка устройств, обеспечивающих компенсацию негативных воздействий нагрузки на сеть. Таким устройством является регулятор качества электроэнергии, который обеспечивает решение таких проблем.

Устройство состоит из полупроводникового преобразователя, выходного фильтра, системы управления (СУ), конденсатора на стороне постоянного тока [1]. Для управления регулятором применяют два основных способа управления: гистерезисное и широтно-импульсная модуляция (ШИМ).

Для применения ШИМ сигналы тока представляются в синхронных координатах (abc/dq) [1], которые преобразуются в напряжение регулирования с помощью ПИ-регулятора. Сигнал напряжения регулирования поступает на блок преобразования dq/abc, который затем суммируется с напряжением сети и масштабируется к напряжению на блоке конденсаторов. Полученный сигнал подается на блок ШИМ для получения сигналов управления полупроводниковым преобразователем. Алгоритм гистерезисной модуляции реализуется проще. Находится ошибка сигнала тока дросселя и тока задания и подается на релейный элемент. Достоинством ШИМ является лучший гармонический состав тока дросселя. На рис. 1, 2 изображены спектральные составы токов при двух способах управления. При ШИМ гармоники сосредоточены около модуляционной частоты и большие по амплитуде. При гистерезисной модуляции они равномерно распределены в широком спектре с малыми амплитудами.

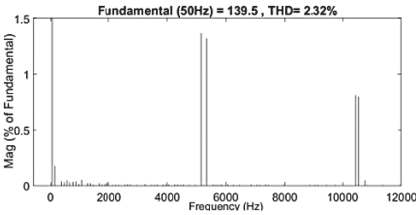


Рис. 1. Спектральный состав тока при ШИМ

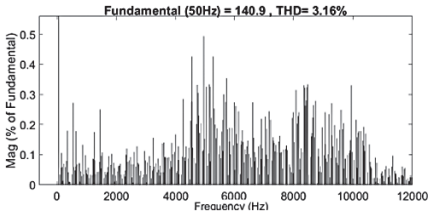


Рис. 2. Спектральный состав тока при гистерезисной модуляции

Литература

1. **Розанов Ю.К., Воронин П.А., Рывкин С.Е., Чаплыгин Е.Е.,** Справочник по силовой электронике. Под ред. Розанова Ю. К. — М.: Издательский дом МЭИ, 2014. — 472 с.

Б.Ф. Кузнецов, студент; рук. П.А. Курбатов, д.т.н., проф.;
конс. О.Н. Молоканов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА С ИНТЕГРИРОВАННЫМ МАГНИТНЫМ МУЛЬТИПЛИКАТОРОМ ДЛЯ ВЕТРОАГРЕГАТА ПРЯМОГО ПРИВОДА

В данном проекте рассматривается возможность создания ветроагрегата прямого привода с улучшенными массогабаритными показателями с использованием технологии бесщёточного электрогенератора с интегрированным магнитным редуктором. Конструкция, описанная в работе, позволит избавится от механического редуктора, содержащего истирающиеся детали, чем значительно снизит затраты на ремонт и эксплуатацию ветроагрегата. Высокий передаваемый момент такой машины достигается за счёт использования магнитного редуктора, в котором для создания магнитного поля вместо токовых обмоток применяются постоянные магниты [1]. Благодаря интегрированному магнитному редуктору машина будет нагреваться гораздо меньше, что даёт возможность сделать её сравнимой по размерам с системой редуктор — генератор в редукторных ветроагрегатах.

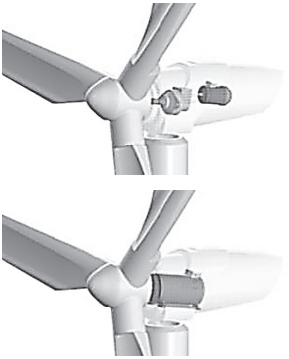


Рис. 1. Виртуальные 3D модели традиционной и модифицированной конструкций ветроагрегата

В работе произведено компьютерное моделирование генератора в статическом режиме, найдена наиболее эффективная конфигурация параметров машины номинальной мощностью 500 кВт. Проведён анализ различных конфигураций обмоток статора [2], построены характеристики момента машины и удельных моментов на объём и на массу магнитов. Проведено сравнение с реальными конструкциями ветроагрегатов номинальной мощностью 500 кВт и построены виртуальные 3D-модели конструкций классического редукторного ветроагрегата и ветроагрегата с прямым приводом для проведения сравнительного анализа.

Литература

1. **Atallah K., Calverley S., Clark R., Rens J., Howe D.** A new PM machine topology for low-speed, high-torque drives // Proc. — Int. Conf. Electr. Mach., ICEM. 2008.
2. **Frandsen, T.V., Mathe, L., Berg, N.I., Holm, R.K., Matzen, T.N., Rasmussen, P.O., Jensen, K.K.** Motor Integrated Permanent Magnet Gear in a Battery Electrical Vehicle // IEEE Trans Ind Appl. 2015.

Н.С. Родькин, студ.; рук. К.В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА РЕГУЛЯТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА С АНАЛОГОВОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ МОДУЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Разработка нового устройства становится более актуальна из-за проблемы ухудшения экологической ситуации в мире и снижения запасов ископаемого топлива. Решением этой проблемы может стать энергия солнца. Среди альтернативных источников энергии, электрическая энергия от фотоэлектрических (ФЭ) ячеек в настоящее время рассматривается как естественный источник энергии, который является наиболее используемым, так как это бесплатно, чисто, распространено по всей планете и вносит основной вклад во все остальные производственные процессы на Земле.

Одной из самых важных проблем ФЭ ячеек является их коэффициент полезного действия. Решением проблемы эффективности ФЭ ячеек может стать регулятор с возможностью поиска точки максимальной мощности (ТММ) ФЭП. Основными средствами алгоритмизации поиска ТММ являются: метод возмущения и наблюдения (ВиН), методы возрастающей проводимости и постоянного напряжения. Выбранный метод ВиН является наиболее распространённым, несмотря на то, что он приводит к колебаниям мощности. Широкое применение этого метода обусловлено его простотой и может быть реализовано на основе функциональной схемы системы управления повышающего преобразователя напряжения (ППН) [1].

На основе схемы повышающего регулятора постоянного тока для стабилизации выходных параметров появляется выгодное преимущество на фоне других решений. Высокая входная индуктивность L, обеспечивает непрерывность входного тока и стабильность рабочей точки вольтамперной характеристики ФЭ ячейки по току.

В работе были сделаны модели повышающего регулятора постоянного тока, аналоговой системы управления и модуля ФЭП в программе PSpice. Также был разработан экспериментальный макет, чьи опытные характеристики сошлись с результатами моделирования.

Литература

1. Solar Generation IV: Solar Electricity for Over One Billion People and Two Million Jobs by 2020/ C. Wolfsegger and J. Stierstorfer// Amsterdam, The Netherlands: Greenpeace, 2007, EPIA.

Г.К. Соловов, студ.; рук. К.В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА РЕГУЛЯТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ВОЛНОВОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ С ЛИНЕЙНЫМ ГЕНЕРАТОРОМ (ЛГ)

Рост потребления электроэнергии в мире и снижение запасов природных ископаемых для её выработки стали причиной поиска новых нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Одним из перспективных источников энергии является энергия океанских волн. Большие запасы энергии океана сосредоточены в ветровых волнах, океанических течениях, приливах и отливах.

Для преобразования энергии океана на данный момент используется волновая энергоустановка. Однако волновая энергия непостоянна — это связано с разной интенсивностью ветра, временем года, суток и др. Все эти факторы создают проблему нестабильного выходного напряжения энергоустановки. Решением этой проблемы может стать использование стабилизатора напряжения на шине постоянного тока.

В работе были рассмотрены схемы реализации стабилизатора напряжения в звене постоянного тока выпрямителя для линейного генератора. В качестве прототипов для расчета были приняты схемы повышающего и обратноходового преобразователей.

По результатам работы были получены методики расчёта параметров преобразователей и разработаны макеты регуляторов с функцией стабилизации выходного напряжения при быстром изменении входного. Совпадение результатов эксперимента и данных, полученных на математической модели в программе PSpice, показало правильность предложенных методик расчета.

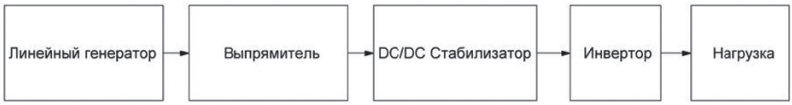


Рис. 1. Блок схема волновой электростанции

Литература

1. Силовая электроника: от простого к сложному/ Семёнов Б.Ю.//— М.: СОЛОН-Пресс, 205, — 416 с.: С. 30.

Е.А. Кущенко, студ.; рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., ст. преп.;
рук. П.А. Курбатов, д.т.н., проф., проф. каф. ЭМЭЭА (НИУ «МЭИ»)

БЕСКОНТАКТНЫЕ МАГНИТНЫЕ ПОДШИПНИКИ НА ОСНОВЕ ВТСП ЛЕНТЫ 2-го ПОКОЛЕНИЯ

Использование высокотемпературных сверхпроводниковых (ВТСП) материалов являются перспективным направлением развития современной электротехники [1]. Их применение позволяет создавать устойчивую магнитную левитацию, которую можно эффективно использовать в области бесконтактных магнитных подшипников, которые используются при создании кинетического накопителя энергии (КНЭ) [2]. Отказ от механических подшипников позволяет существенно уменьшить потери на трение в кинетическом накопителе энергии. ВТСП подшипники позволяют не только отказаться от механических узлов скольжения и связанных с ними потерь на трение, но и существенно понизить энергозатраты, необходимое на поддержание магнитной левитации, присущие используемым в настоящее время электромагнитным подвесам. На сегодняшний день для создания подшипников используются объемные ВТСП, имеющие ряд недостатков, которые в том числе ограничивают их внедрения, несмотря на перспективность их применения.

Задачей представляемой работы являлось изучение возможности и эффективности применения объемных структур из ВТСП ленты 2-го поколения взамен объемных ВТСП в магнитных подшипниках. На основе проведенных экспериментов получены параметры математической моделей, описывающих свойства ВТСП элементов, которые были применены для компьютерного моделирования в программе численного анализа электромагнитных полей EasyMag^{3}D.

В докладе представлен результаты теоретических и экспериментальных исследований левитационных свойств объемных ВТСП и объемных структур, изготовленных из слоев ВТСП ленты 2-го поколения. Проведен анализ конструкции цилиндрического магнитного подшипника в магнитном подвесе кинетического накопителя энергии с использованием объемных ВТСП и структур из слоев ВТСП ленты.

Литература

1. **В.А. Матвеев, В.А. Маевский, В.В. Асеев, А.С. Ивлев, М.А. Сысоев.** Применение объемных высокотемпературных сверхпроводников в перспективных космических системах // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана Сер. «Приборостроение», 2016, № 1, стр. 15–32.
2. **Amiryar M.E.; Pullen K.R.** A Review of Flywheel Energy Storage System Technologies and Their Applications // Appl. Sci. 2017, 7, 286.

Р.Г. Апальков, студ.; рук. Ю.Б. Церковский, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

КЛЮЧЕВОЙ РЕГУЛЯТОР ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Стабилизированное напряжение питания позволяет улучшить характеристики аппаратуры. Наиболее распространено питание аппаратуры от сети переменного тока. Существующие стабилизаторы либо имеют низкие удельные показатели, либо сложны. Рассматриваемый стабилизатор на основе непосредственного импульсного преобразования переменного напряжения содержит малое число силовых компонентов, имеет высокие удельные показатели, и способен, при соответствующей системе управления, обеспечить стабильное мгновенное значение напряжения [1].

При условии, что частота преобразования много больше частоты входного напряжения, рассматриваемую схему можно проанализировать как регулятор постоянного тока.

За основу взята схема Чука (рис. 1), так как ее выходное напряжение может быть как меньше, так и больше входного.

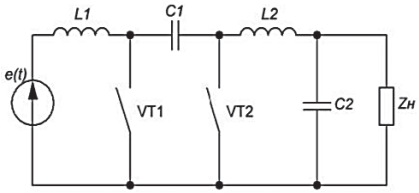


Рис. 1. Преобразователь Чука

В работе представлена методика расчета элементов преобразователя, рассмотрено устройство системы управления, стабилизирующей действующее значение напряжения. По рассчитанным данным производилось моделирование схемы в программном комплексе Matlab Simulink. Было показано, что при скачкообразном изменении входного напряжения система поддерживает требуемое значение выходного напряжения.

Литература

1. **Розанов Ю.К., Воронин П.А., Рывкин С.Е., Чаплыгин Е.Е.** Справочник по силовой электронике. — М.: Издательский дом МЭИ, 2014.

А.А. Козлов, студ.; рук. Н.А. Ведешенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ДУГОГАСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ КОНТАКТОРОВ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Любой электрический аппарат предназначен для коммутации цепи при возникновении дуги. Для успешного гашения дуги электрические аппараты содержат дугогасительные устройства, одним из таких устройств является дугогасительная решетка [1].

Конструктивно состоит из набора ферромагнитных пластин, скрепленных изоляционной стенкой.

Дугогасительная решетка имеет большое число конструктивных исполнений, каждая из которых связана со спецификой конструктивного исполнения токоведущего контура [2].

В данной работе выполнен обзор факторов, влияющих на эффективность гашения дуги решеткой. Такие как: вхождение дуги в решетку, движение дуги по пластинам (представленное на рис. 1), количество пластин, расстояние между пластинами, аэродинамические эффекты, встречаемые дугой на пути в решетку и другие параметры.

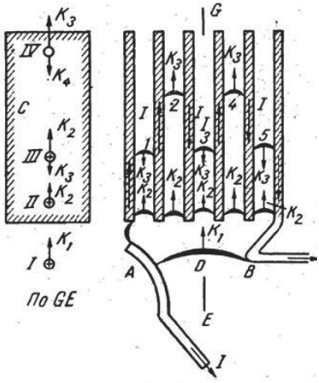


Рис. 1. Схема сил, действующих на дугу в решетке

Высказаны соображения о поиске критериев, связывающих параметры решётки с восстанавливающейся прочностью. Проведено моделирование с целью получения качественной связи геометрии пластин на восстанавливающуюся прочность для различных конфигураций.

Литература

1. **В.П. Мещеряков** Электрическая дуга большой мощности: [Текст]. — ОАО «Контактор», 2008. — 425
2. **О.Б. Брон** Электрическая дуга в аппаратах управления: [Текст]. — Москва; Ленинград: Госэнергоиздат, 1954. — 532

И.А. Рахманов, студ., Ю.Б. Церковский, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

Ежегодное увеличение количества потребления электроэнергии требует нахождения новых способов ее получения. Двигатели внешнего подвода тепла имеют множество преимуществ: высокую эффективность, использование любых источников тепла. Разновидностью двигателей внешнего подвода тепла являются термоакустические двигатели. Особенностью данных типов двигателя является то, что их цикл близок к циклу Карно, а отсутствие большого количества движущихся частей приводит к уменьшению потерь [1]. В рассматриваемой системе в качестве преобразователя механической энергии в электрическую используется линейный генератор. Данный тип генератора способен использовать возвратно поступательное движения для преобразования механической энергии в электрическую.

В работе представлены обзор типов термоакустических двигателей, выбор конструкции, разработка методики расчета. Также рассмотрена конструкция и разработана методика расчета линейного генератора. На рис. 1 изображен теормоакустический двигатель на стоячей волне, а также электромеханический преобразователь. В горячем теплообменнике происходит нагрев рабочего тела, регенератор необходим для поддержания градиента температур. Проходя через регенератор и холодную зону, термоакустическая волна усиливается и оказывает влияние на поршень. Поршень, осуществляя возвратно-поступательное движение в линейном генераторе, создает электроэнергию.

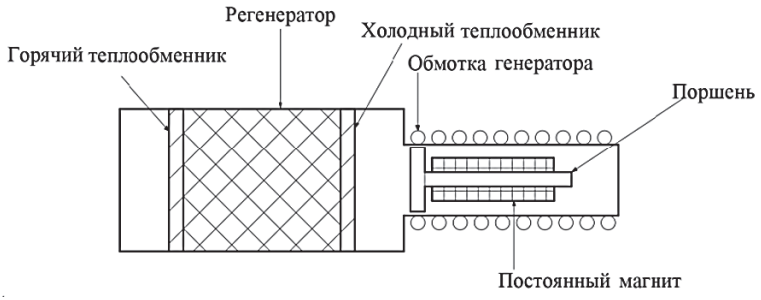


Рис. 1. Эскиз энергоустановки

Литература

1. **Jaworski A.J., Mao X.** Development of thermoacoustic devices for power generation and refrigeration //Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy. — 2013. — Vol. 227. — №. 7. — p. 762–782.

В.П. Федосеева, студент; рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ДАТЧИКА ВИБРАЦИЙ С ПОВЫШЕННЫМ РЕСУРСОМ РАБОТЫ

Наибольшее влияние на метрологические характеристики магнитожидкостного датчика вибраций (МЖДВ) оказывает изменение свойств магнитной жидкости (МЖ) под действием градиента магнитной индукции, возникающего на кромках кольцевого постоянного магнита чувствительного элемента [1].

Цель работы состояла в разработке конструкции МЖДВ, которая обеспечивает левитацию чувствительного элемента в корпусе датчика при минимальном значении градиента магнитной индукции. Для решения данной задачи разработана конструкция датчика с чувствительным элементом в виде кольцевого постоянного магнита, помещённого в составной кожух из немагнитопроводного материала [2].

Для определения рациональных размеров толщины стенок кожуха, необходимой для обеспечения левитации чувствительного элемента при минимальной величине градиента магнитной индукции, проведены численные исследования в интегрированной среде FEMM. Использовались магниты, имеющие размеры К32×18×5, К17,1×10×11, К11×6×2,5. Характеристики постоянных магнитов следующие: остаточная магнитная индукция Br = 0,92 Тл, коэрцитивная сила Hc = 617 кА/м. Толщина немагнитопроводного кожуха изменялась в пределах от 1 до 5 мм. Расчётные результаты градиента магнитной индукции составили: 0,18–0,017 Тл/мм для наименьшего и 0,097–0,03 Тл/мм для наибольшего размеров магнитов.

Устойчивая левитация чувствительного элемента достигается при значении градиента магнитной индукции не менее 0,04 Тл/мм [3], при этом толщина кожуха для магнита К11×6×2,5 составила 2 мм, а для магнита К32×18×5–4 мм соответственно.

Литература

1. **Сайкин М.С., Федосеева В.П.** Устройство для измерения вибраций. Патент на полезную модель, Российская Федерация N 184838 RU, МПК G01H 11/02, Приоритет от 12.07.2018, опубл. 12.11.2018, Бюл. N 32.
2. **Сайкин М.С., Федосеева В.П.** Устройство для измерения вибраций. Патент на полезную модель, Российская Федерация N 189089 RU, МПК G01H 11/02, Приоритет от 30.01.2019, опубл. 13.05.2019, Бюл. N 14.
3. **Морозова Д.Ю., Сайкин М.С.** Влияние параметров чувствительного элемента магнитожидкостного датчика угла наклона на силу подвеса. // Датчики и системы. — Изд-во ООО «Сенсидат-Плюс», N 7, 2015. С. 15–18.

Д.С. Чекалин, студ.; рук. К.В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕМЯ ОДНОФАЗНЫМИ ИНВЕРТОРАМИ ДЛЯ ИХ СИНХРОНИЗАЦИИ В ТРЕХФАЗНУЮ СЕТЬ

Системы распределенной генерации электроэнергии становятся особенно популярными в последние годы. В связи с этим возрастает потребность в разнообразных устройствах, входящих в эти системы. Одним из самых заметных источников электроэнергии в таких системах является фотоэлектрический преобразователь — устройство, преобразующее энергию солнечного излучения в электрическую энергию.

В виду последних изменений в законодательстве РФ, стала возможной продажа генерируемой электроэнергии в сеть. Для этого может потребоваться совместная работа ранее установленных на объектах однофазных инверторов на трехфазную сеть.

В работе представлена система управления, позволяющая синхронизировать три однофазных инвертора для ФЭП, с помощью полученной по каналам связи информации о их состоянии, в трехфазный режим работы. Также предусмотрено соединение с другими устройствами системы распределенной генерации (например, счётчик), что позволит ограничивать перетоки энергии в сеть.

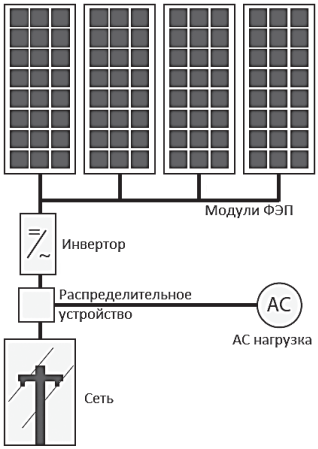


Рис. 1. Блок-схема системы распределенной генерации

При разработке системы управления, в программном комплексе Matlab, была составлена компьютерная модель системы распределенной генерации с ФЭП и тремя однофазными инверторами. К ним были применены алгоритмы управления, синхронизирующие эти инверторы. В последствии проверены выходные характеристики данной системы.

Литература

1. **Розанов Ю.К.** Силовая электроника: учебник для вузов / Розанов Ю. К., Рябчинский М. В., Кваснюк А. А. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 632 с.: ил.
2. **Klaus Jäger, Olindo Isabella, Arno H.M. SmetsRené, A. C. M. M. van Swaaij, Miro Zeman.** Solar Energy Fundamentals, Technology, and Systems. // Delft University of Technology. — Vol. 408. — 2014.

С.А. Шелковникова, студ.; рук. Ю.Б. Церковский, старший преп. (НИУ «МЭИ»)

РЕГУЛЯТОР ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

Контроль напряжения аккумуляторной батареи во время заряда и разряда является неотъемлемой частью её эксплуатации. Для этой цели используются регуляторы постоянного напряжения различных конструкций. Основная задача таких регуляторов — улучшение качества выходной электроэнергии (стабилизация напряжения и тока). Регуляторы могут быть непрерывного действия и импульсные.

Регуляторы непрерывного действия имеют низкий КПД и используются для питания потребителей малой мощности — обычно менее 1 Вт. Такой регулятор может выполняться на базе одного стабилитрона или диода, либо транзистора с обратной связью. Простейшие импульсные регуляторы напряжения используют для более мощных нагрузок и представляют собой схему с транзистором, диодом, индуктивным и ёмкостным элементами. Их положение в схеме меняется в зависимости от типа регулятора. Ещё один вид регуляторов — преобразователи с гальванической развязкой.

Для аккумуляторных батарей обычно используются модифицированные импульсные регуляторы, например, схема Чука (рис. 1, *а*). В таких схемах снижены пульсации, что позволяет уменьшить ёмкости фильтров. Схема, сохраняя положительные свойства простейшего импульсного регулятора (один транзистор и один диод), имеет более высокий КПД. Так же в схеме могут быть объединены магнитной связью реакторы *L1* и *L2* (рис. 1, *б*) [1].

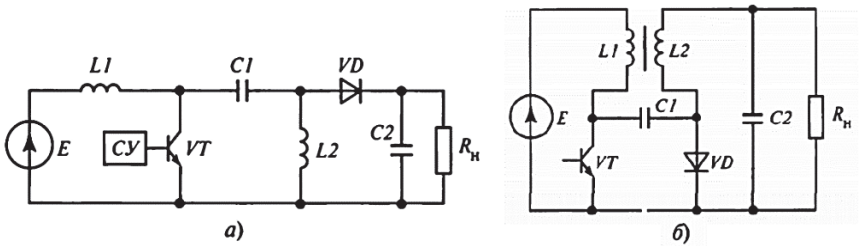


Рис. 1. Схема регулятора Чука (а) и схема регулятора Чука с объединённой магнитной системой (б)

Литература

1. **Ю.К. Розанов, М.В. Рябчинский, А.А. Кваснюк —** Силовая электроника, Москва, Издательский дом МЭИ, 2007. 632 с.

С.А. Чирков, студ.; рук. С.В. Осипкин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ РОСТА КРИСТАЛЛОВ

Растущий спрос на монокристаллы с улучшенным структурным совершенством вынуждает исследователей разрабатывать новые высокопроизводительные способы выращивания. Создание условий для контролируемого тепломассопереноса в расплаве является одной из главных проблем, которую в этой связи пытались решить на протяжении последних 50 лет. Были разработаны пассивные и активные варианты воздействия на расплав. Последние заключались в приложении внешних полей: переменного теплового поля, ультразвука, электромагнитного поля, и различных способов перемешивания, включая вибрационное перемешивание различной частоты и направленности.

Методы направленной кристаллизации являются наиболее эффективными. Одним из способов воздействия на расплав является приложение низкочастотных вибраций (НЧ). НЧ, при определённой интенсивности, могут существенно улучшать качество выращиваемых кристаллов. Под действием низкочастотных вибраций в жидкой фазе формируются вынужденные течения — вынужденная вибрационная конвекция. В 1955 году Б.В. Витовский установил, что при организации вертикальных осцилляции кристалла с частотой 50 Гц и амплитудой 100–500 мкм весовая скорость выращивания кристаллов возрастает до четырех раз [1]. В связи с этим, есть необходимость в разработке эффективного средства для создания вертикальной вибрации, удовлетворяющем оптимальным амплитудо-частотными характеристиками для роста кристаллов и возможностью работы в изолированной среде.

Суть работы заключается в проектировании выбрационного устройства для введения вертикальных вибраций через растущий кристалл при выращивании в конфигурации метода Чохральского. Вибрации будут создаваться линейным двигателем на постоянных магнитах, особенностью которого является магнитный подвес рабочего органа, необходимый для поддержания среды, пригодной для роста кристаллов. В работе представлены результаты компьютерного моделирования. Были получены зависимости напряженности электромагнитного поля, частоты и амплитуды хода рабочего органа от подаваемого в обмотку тока.

Литература

1. **Витовский Б.В.** Повышение скорости роста кристалла подачей на него колебаний звуковой частоты // Труды ИКАН СССР. 1955. выпуск 11. С.

А.Р. Каримов, студент; рук. Н.А. Ведешенков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ ПРИ ТОКАХ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

В данном проекте рассматривается возможность создания лабораторного стенда на базе низковольтного силового воздушного выключателя с номинальным током 2500А для исследования погрешностей различных типов устройств для измерения тока в переходных режимах работы.

Выключатель A2500N-D — MR8-B-ПД2-КС-УЗ производства фирмы «KEAZ» имеет встроенный микропроцессорный расцепитель MR-8.0, работа которого обеспечивается наличием встроенных датчиков тока типа «Пояс Роговского» на каждой фазе. За счёт датчиков осуществляется питание блока микропроцессорного расцепителя при токе хотя бы одной фазы $I_{пит} \geq 0{,}2 \cdot I_n$.

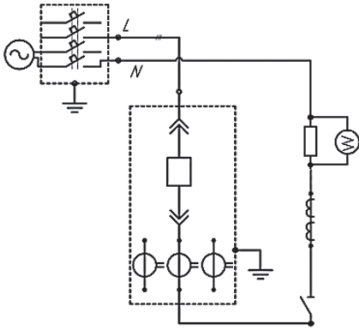


Рис. 1. Схема лабораторного стенда

При создании стенда к выключателю были подключены дополнительные электромагнитные трансформаторы тока [1]. Также была предусмотрена возможность снятия осциллограмм тока силовой цепи с помощью шунта.

В ходе работы планируется провести имитацию различных режимов работы выключателя с целью сравнения и анализа показаний разных типов устройств для измерения тока. [2] Ожидается появление погрешности при измерении величины и фазы токов из-за величины тока намагничивания, который является одной из основных причин возникновения насыщения.

На базе этой схемы возможно создание испытательного учебного стенда с возможностью вывода на компьютер показаний значений токов и состояний контактов выключателя, а также удалённого управления.

Литература

1. **В.В. Афанасьев, Н.М. Адоньев, Л.В. Жалалис, И.М. Сирота, Б.С. Стогний.** Трансформаторы тока, изд. «Энергия», 1980 г., — 344с.
2. Сайт ABB [Электронный ресурс] SACE Emax 2 New low voltage air circuit-breakers URL: https://new.abb.com/docs/librariesprovider54/publikationer/katalog-emax2.pdf?sfvrsn=de6cc113

Г.И. Белов, студ.; рук. О.Н. Молоканов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТОПОЛОГИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЛИНЕЙНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПРЯМОГО ПРИВОДА ДЛЯ ВОЛНОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Возобновляемые источники энергии являются перспективным направлением. Помимо ветроэлектростанций, солнечных электростанций и других, так же существуют волновые электростанции, позволяющие получать энергию от океанов, приливов и отливов, от океанских волн и течений.

Основными проблемами в волновой энергетике является агрессивная окружающая среда, непостоянная и нелинейная нагрузка, так как сила и скорость волны зависит от погодных условий. Из-за низкой скорости волны приходится использовать системы трансмиссий на основе зубчатых редукторов, ременных передач или гидравлических систем, что усложняет генерирующую установку и уменьшает ее надежность [1]. Использование систем прямого привода позволяет избежать этих недостатков, однако необходимы специальные высокоэффективные низкоскоростные линейные электрические генераторы, анализу которых и посвящена работа.

В работе выполнено моделирование магнитных систем перспективных топологий электрических линейных генераторов. Для получения необходимых данных, используемых для сравнения, магнитные части генераторов были рассчитаны в программном комплексе *Comsol Myltiphysics* и *Matlab*.

Сравнение проводилось по следующим параметрам, по удельной силе, по коэффициенту мощности, по эффективности использования магнитных материалов.

В результате была выявлена самая эффективная топология электрических линейных генераторов прямого привода.

Литература

1. **Jochen Bard, Peter Kracht.** Linear generator systems for wave energy converters.

Д. Е. Цураков, студ.; рук. К. В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПРИБОР СОПРЯЖЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ И ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ

В настоящее время особое внимание уделяется развитию космоса: реализуются многочисленные старты космических кораблей к международной космической станции (МКС), где проводят различные опыты и эксперименты, например, такие как запуск к МКС робота Федор или FEDOR-антропоморфный робот, который разработан НПО «Андроидная техника» и Фондом перспективных исследований (ФПИ), и должен заменить человека в местах повышенного риска.

В магистерской работе внимание уделяется прибору, который совместно работает с первичными источниками энергии, в роли которых выступают солнечные батареи, и со вторичными источниками энергии — химические источники энергии, которые должны находится в заряженном состоянии. Данное устройство предназначено для работы как на земле, так и во всех режимах полета.

Вся функциональная работа осуществляется с помощью составных изделий данного прибора:

— регулятор напряжения — представляет собой понижающе-повышающий преобразователь для подзаряда и разряда химических источников энергии.

— регулятор тока — регулирует ток генератора солнечной батареи, где в качестве регулируемой величины выступает напряжение на шинах устройства сопряжения источников энергии.

— блок для разряда и подзаряда — осуществляет контроль поддержания заряда у химических источников энергии.

— блок центральной связи — предназначен для непосредственной связи всех составных частей данного аппарата.

— прибор контроля и проверки — предназначен для проверки функционирования прибора при всех возможных испытаниях на земле.

Актуальность использования данного аппарата заключается в том, что контроль заряда и разряда химических источников тока весьма сложная задача. В работе рассмотрены алгоритмы состояний вторичных источников энергии, а именно процессы подзарядки и разряда; проведено компьютерное моделирование данного процесса.

Литература

1. **Фетисов В.С., Тагиров М.И., Мухаметзянова А.И.** Подзарядка электрических беспилотных летательных аппаратов: обзор существующих разработок и перспективных решений// Авиакосмическое приборостроение. — 2013. — № 11. — С. 7–26.
2. Learning the basics about batteries/ Cadex Electronics Inc. — URL: http://http://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries.

А.Ю. Верстунин, асп.; рук. Н.А. Ведешенков, доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДУГОГАСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ФЕРРОМАГНИТНОЙ СКОБОЙ В КОНТАКТОРАХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В настоящей работе рассматривается исследование дугогасительной системы с ферромагнитной скобой, а также роль влияния постоянных магнитов на процесс гашения электрической дуги.

Анализируя полученные данные с параметрами различных контакторов для номинального режима и режима редких коммутаций, можно сделать вывод, что прослеживается корреляция параметров дугогасительной камеры от тока аппарата *V (I)* (объем дугогасительной камеры *V* от тока *I*). Поэтому, при проектировании аппарата в диапазоне токов *I*=26…95 А мы можем воспользоваться полученными зависимостями (рис. 1) для определения параметров дугогасительных камер.

В ходе исследования роли влияния постоянных магнитов, были проделаны различные испытания [1]. Из анализа полученных данных видно, что в системе с постоянными магнитами дугогашение происходит по определённому закону. Вначале происходит скачок напряжения за счет анодно-катодного падения напряжения, далее плавное нарастание напряжения за счет удлинения дуги, потом происходит колебательный процесс напряжения, далее плавное нарастание напряжения до значения перенапряжения, и в конце спад до установившегося значения (рис. 2)

Для более точного понимания механизма гашения электрической дуги с использованием ферромагнитной скобы и использованием постоянных магнитов требуются дальнейшие исследования.

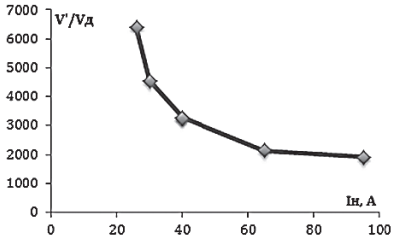


Рис. 1. Изменение параметров дугогасительной камеры от номинала аппарата

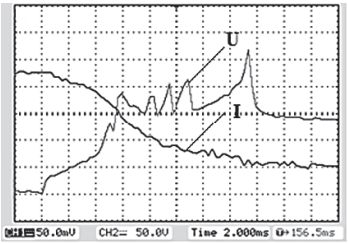


Рис. 2. Осциллограмма напряжения и тока в системе с 4-мя ПМ и латунной скобой при токе I=466А

Литература

1. **О.Б. Брон, Л.К. Сушков.** Потоки плазмы в электрической дуге выключающих аппаратов. М.: Энергия, 1975.

Секция 25.
ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИКА

Председатель секции — Анучин Алексей Сергеевич
Секретарь секции — Благодаров Дмитрий Анатольевич

Е.А. Егорова, студ.; Л.Б. Масандилов, д.т.н., професор;
Н.М. Кураев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ», Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ И СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ОБМОТОК СТАТОРА ДВИГАТЕЛЯ

Совершенствование систем управления механизмами непрерывно продолжается. Существуют различные варианты исполнений электроприводов лифтов. Во многих современных электроприводах лифтов используются асинхронные двигатели с преобразователями частоты. Недостатком таких систем является тормозной резистор, подключенный к преобразователю частоты. Также интерес представляют безредукторные привода лифтов с низкочастотными двигателями [1].

В последние годы появляются новые асинхронные двигатели с сосредоточенными обмотками, которые ещё мало изучены. Особенный интерес вызывают машины с сосредоточенными обмотками с дробным числом пазов на полюс и фазу (spp).

Представляет интерес выявить преимущества асинхронных двигателей с сосредоточенными обмотками для использования их в безредукторных электроприводах, например, таких механизмов как лифт. Для получения необходимых низких скоростей в классической асинхронной машине может быть увеличено число пар полюсов [2]. Подобный подход влечет за собой увеличение массогабаритных показателей и затрат на производство.

Преимуществами использования сосредоточенных обмоток являются: 1) экономия меди в обмотках; 2) упрощение технологии намотки обмотки статора; 3) возможность достижения оптимального ослабления потока, которая позволяет увеличить диапазон рабочих скоростей.

В данной работе проведено сравнение классических асинхронных двигателей, низкочастотных и асинхронных двигателей с сосредоточенным типом обмотки. По полученным при проектировании параметрам двигателей были построены и проанализированы механические и электромеханические характеристики машин.

Литература

1. **Масандилов Л.Б., Кураев Н.М, Кузиков С.В., Фумм Г.Я.** Безредукторные электроприводы с низкочастотными асинхронными двигателями // Электротехника. — 2015. — № 1. — С. 38–41.
2. Машиностроение. Энциклопедия. М.; Машиностроение. Электроприводы. Т. IV-2 / Л.Б. Масандилов, Ю.Н. Сергиевский, С.К. Козырев и др.; под общ. ред. Л.Б. Масандилова. 2012. — 520 с.

И.В. Радченко, студ.;
рук. Ладыгин А.Н., к.т.н., профессор (НИУ «МЭИ», Москва)

АНАЛИЗ СТРУКТУР СИНХРОННОГО ВРАЩЕНИЯ ДВУХ СЕРВОПРИВОДОВ

Перед современным регулируемым электроприводом стоит множество задач по обеспечению различных требований со стороны механизма. Одной из них является обеспечение синхронного перемещения нескольких валов исполнительного органа, механически не связанных между собой. Для решения подобных задач, требующих высокую точность синхронизации, применяют сервоприводы. Работа, результаты которой представлены в докладе, посвящена исследованию систем для организации вращения двух сервоприводов. Целью этих исследований является выработка рекомендаций по разработке системы синхронизации.

Под термином «сервопривод» подразумевается любой тип электромеханического привода, имеющий в составе датчик положения, скорости, усилия и т.п., а также блок управления приводом. Такие системы автоматически поддерживают необходимые параметры на датчике согласно заданному внешнему значению.

В самом простом варианте синхронизации используется управление двумя сервоприводами с одного ПЛК, то есть происходит параллельная установка задания по скорости или по положению. Между собой ПЛК и сервоприводы соединены по коммуникационной шине. Такой шиной, например, может быть шина реального времени с использованием протокола связи EtherCAT. Она позволяет отправлять управляющее воздействие на сервоприводы таким образом, чтобы синхронизировать работу системы.

Другим вариантом структуры синхронизации поворота является система, основанная на принципе «ведущий-ведомый». Один из сервоприводов является «ведущим», то есть задающим сигнал задания на скорость или положение вала, а второй является «ведомым» — исполняющим этот сигнал задания. В качестве сигналов задания и обратной связи с датчика используются импульсные сигналы.

В докладе представлены результаты исследования данных структур синхронизации сервоприводов по показателям точности синхронизации и быстродействия системы. Полученные результатыпозволяют выработать рекомендации по разработке системы синхронизации.

В.А. Андреев, студ.;
рук. Ладыгин А.Н., к.т.н., профессор (НИУ «МЭИ», Москва)

АНАЛИЗ ФУНКЦИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Современная тенденция развития преобразователей частоты (ПЧ) для электропривода заключается в расширении номенклатуры прикладных функций преобразователя с целью более полного удовлетворения требований конкретной производственной установки, оснащенной этим электроприводом, для повышения ее технологических возможностей и энергетической эффективности.

В докладе представлены результаты исследований функциональности частотно-регулируемого электропривода насосного агрегата, проведенных в научно-образовательном центре «Шнейдер Электрик — МЭИ». При исследовании использовался лабораторный стенд с насосным агрегатом, оснащенным частотно-регулируемым электроприводом на базе ПЧ Altivar630 Process. Этот ПЧ имеет широкий набор прикладных функций, ориентированных на применение в электроприводе центробежных насосов. Кроме того, в состав рассматриваемого лабораторного стенда входят:

— насосный агрегат из трех центробежных насосов с асинхронными моторами, каждый из которых получает питание от ПЧ названного выше типа;

— набор трубопроводов и гидроаккумулятор с соответствующей запорной арматурой для имитации гидросистемы различной конфигурации;

— измерительные приборы (манометры, датчики давления, расходомер).

Наибольший интерес представляют такие функции, как «сон-пробуждение» (позволяет остановить двигатель в периоды отсутствия потребления воды), заполнение трубы (предотвращает эффект гидравлического удара), защита от заклинивания (позволяет очистить рабочее колесо насоса, трубопровод от засоров), сухой ход (предотвращает работу насоса всухую), режим контроля низкого расхода, контроль верхнего расхода (позволяет обнаружить разрыв трубопровода), режим контроля давление на входе (защищает от кавитации). Все эти функции непосредственно влияют на надежность насоса, обеспечивая его бесперебойную работу.

Приведенные в докладе результаты анализа специфики выбора параметров и характеристик вышеперечисленных функций ПЧ представляют практическую ценность для успешной реализации процессов проектирования и наладки насосных установок с частотно-регулируемым электроприводом.

Д.В. Шелаев, студ.;
рук. А.Н. Ладыгин, к.т.н., профессор (НИУ «МЭИ», Москва)

АВТОМАТИЗАЦИЯ МНОГОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ С ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Актуальность исследования, посвященного автоматизации многонасосных установок с частотно-регулируемыми приводами (ЧРП), обусловлена тем, что проблема в последние годы получает большое внимание из-за массового переоснащения и автоматизации электроприводов в системах водоснабжения. Применение частотного регулирования позволяет значительно увеличить точность выполнения технологической задачи. К тому же обеспечивает плавность изменения производительности каждого из насосов и предотвращает возникновение гидроударов, что повышает ресурс и надежность работы как самой насосной станции, так и трубопроводной арматуры. Современные насосные установки должны иметь необходимые виды защиты и автоматики для энергоэффективной и надежной работы, а следовательно, поддерживать заданное давление или расход в системе водоснабжения, вести контроль питающего напряжения, защищать от перегрузки и сухого хода, переключать насосы между собой при отказе и для обеспечения их одинаковой наработки, автоматически распределять нагрузки между насосами для обеспечения максимальной эффективности, диагностировать неисправности станции.

В данной работе решались вопросы разработки автоматизированной многонасосной установки с ЧРП. Подробно рассмотрен алгоритм управления насосами с использованием программируемого логического контроллера (ПЛК), который осуществляет опрос датчиков состояния оборудования и технологических параметров и выдает сигнал управления на приводы. Результаты разработки проверялись посредством экспериментальных исследований на лабораторном макете, который находится в лаборатории НОЦ «Schneider-Electric МЭИ».

Результаты проделанной работы показывают, что автоматизация существующих насосных станций значительно сокращает трудоемкость эксплуатации и позволяет получить высокий уровень контроля за параметрами системы. Применение ПЛК создает возможность с минимальными затратами реализовать широкий спектр сервисных функций и защит. При этом использование нескольких ЧРП дает возможность плавного регулирования параметров каждого из насосов в такой системе и значительно повышает надежность насосной станции в целом.

Д.А. Коннов, студ.;
рук. В.Н. Остриров, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ВАГОНОВ МЕТРО

В традиционных тяговых системах рельсового подземного общественного транспорта города Москвы имеют место вопросы энергоэффективности и автономности хода подвижного состава.

В современных подвижных составах метрополитена города применяется реостатное и рекуперативное торможение [1]. Рекуперация электроэнергии в сеть возможна только в случае, если в момент торможения одного поезда другой поезд на этом же участке разгоняется. Вероятность этого события невелика, поэтому значительная часть энергии торможения преобразуется в тепловую энергию, рассеиваясь на тормозных резисторах. Для повышения энергоэффективности системы рационально применить накопители электрической энергии. Также при использовании накопителей электрической энергии появится возможность частичной автономности хода поезда метро при обесточенной контактной сети, которая в существующих поездах отсутствует.

В данной работе разрабатывается и рассматривается система, способная аккумулировать энергию торможения поезда. Система состоит из двунаправленного DC–DC-преобразователя и батареи суперконденсаторов. DC–DC-преобразователь обеспечивает передачу энергии в обе стороны при любых сочетаниях входного и выходного напряжений. Накопленная энергия может использоваться для питания тяговых систем состава, а также для питания преобразователей собственных нужд при работающей или обесточенной контактной сети. Также предусматривается возможность передавать накопленную энергию непосредственно в контактную сеть, снижая общее потребление электрической энергии.

Литература

1. ОАО «МЕТРОВАГОНМАШ» Состав из вагонов метрополитена моделей 81–765, 81–766, 81–767. Руководство по эксплуатации. Часть 1 7650.30.00.001 РЭ.

Е.О. Столяров, студ.;
рук. А.С. Анучин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОПРОЦЕССОРА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ КОНТУРОВ ТОКА

Сегодня регулируемый электропривод используется практически во всех сферах жизни. В основе каждого электропривода лежит система управления (СУ), которая отвечает за обработку поданного на вход задания тока, момента, скорости или положения. Структура СУ, как и регулируемая величина, напрямую зависят от поставленной задачи. С течением времени требования к быстродействию СУ становятся всё жестче, и на сегодняшний день приемлемым считается время обработки задания менее 10 мкс [1]. Поэтому постоянно присутствует необходимость сделать расчёт СУ как можно быстрее.

В качестве одного из вариантов решения этой проблемы компанией Texas Instruments был разработан так называемый Fast Current Loop (FCL) — быстрый контур тока [2]. Его суть заключается в том, что обновление ШИМ инвертора происходит не в конце расчёта всей СУ, а в конце расчёта токов или моментов, в результате чего новые уставки сравнения выставляются спустя приблизительно 1 мкс [3]. При этом дополнительное ускорение даёт использование параллельных вычислений. Для этого можно использовать как несколько ядер процессора, так и специальный сопроцессор, называемый Control Law Accelerator (CLA).

В данной работе будет приведён сравнительный анализ скорости расчёта одного цикла СУ с FCL и контуром скорости при использовании только центрального процессора (CPU) и совместной работе CPU и CLA. Его результаты позволят оценить пользу использования CLA для оптимизации контуров тока.

Литература

1. **A.G. Burtsev, N.E. Glazov, A.V. Polyansky;** «Method of Estimating Timing Constraints of Real-Time Systems», 2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS), Oct. 2017, pp 33–36.
2. **Ramesh T Ramamoorthy, Santosh Kumar Athuru;** «Fast Current Loop Library» Application Report, Texas Instruments, SPRAC80 — May 2017.
3. **Brian Fortman;** «A faster current loop pays off in servo motor control», Texas Instruments, July 2017.

Д.В. Курбатов, студ.;
рук. Д.А. Благодаров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОСТОВОГО КРАНА

В настоящее время одной из основных проблем при эксплуатации кранов мостового типа является перекос фермы моста. Основные причины данной проблемы: несимметричная нагрузка на опоры крана, колебания груза при передвижении, разница диаметров крановых колес, вызванная износом, расхождение параметров электродвигателей, а также возможные неточности при укладке подкрановых рельсов. Все вышеперечисленные факторы приводят к контакту реборд крановых колес с рельсами и к сокращению срока службы крановых колес и подкрановых путей. Преждевременный износ ходовой части мостового крана приводит к вынужденным простоям, а также к повышению расходов на ремонт и обслуживание крана [1].

Для устранения перекоса фермы моста применяются различные системы синхронизации: системы с асинхронными двигателями с фазным ротором по принципу «электрического вала», а также существуют системы, в которых для ограничения перекоса используются датчики скорости или перемещений [2;3;4].

Целью данной работы является проведение исследования более совершенной системы синхронизации на базе бесконтактных датчиков, контролирующих перекос и поперечное смещение крана, которая позволит обеспечить регламентированное рассогласование опор мостового крана. Исследования будут проведены на разрабатываемой математической модели двухдвигательного электропривода с системой управления, обеспечивающей синхронизацию перемещения опор. Полученные численные результаты по итогам экспериментов на модели позволят определить параметры системы управления многодвигательного электропривода для обеспечения допустимых рассогласований опор конкретного мостового крана.

Литература

1. **Абрамович И.И.** Грузоподъемные краны промышленных предприятий: Справочник / И. И. Абрамович, В. Н. Березин, А. Г. Яуре // М.: Машиностроение. 1989. — 360 с., ил.
2. **Теличко Л.Я., Дорофеев А.А.** Система управления электроприводами, обеспечивающая бесперекосное передвижение мостовых кранов // Вестник ВГТУ. 2010. № 3. С. 116–118.
3. **Щедринов А.В.** Система ограничения перекоса мостового крана на основе сравнения абсолютных перемещений опор / А. В. Щедринов, А. А. Коврыжкин // Электротехнические комплексы и системы управления. 2008. № 2. С. 76–80.
4. **Кочевинов Д.В., Федяева Г.А.** Система управления электропривода передвижения мостового крана // Вестник БГТУ. 2012. № 3 (35). С. 4–11.

Л.И. Горбунов, студ.;
рук. О.И. Осипов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С МАТРИЧНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ

В настоящее время проблема энергоэффективности стала одной из самых острых [1], в связи с чем, в некоторых областях промышленной автоматизации было обращено внимание на матричные преобразователи частоты (МПЧ). Особенности работы МПЧ позволяют возвращать энергию в сеть при рекуперативных режимах почти в том же виде, в каком она была получена (коэффициент гармонических искажений составляет 8% [2]). Самый широкий на сегодняшний день класс преобразователей частоты — с промежуточным звеном постоянного тока — требует организации сложных схем рекуперации энергии или дополнительных тормозных резисторов для защиты конденсаторов звена постоянного тока при переходе в генераторный режим, кроме того, эти устройства портят гармонический состав сети и требуют наличия в сети дополнительных реакторов и ЭМС-фильтров.

Однако, цена и габариты МПЧ намного выше, чем у двухзвенного преобразователя, что связано с большим количеством транзисторных ключей в своем составе — 18 элементов. Возникает разумный вопрос, связанный с областью применения непосредственных преобразователей частоты матричного типа.

Данная работа направлена на сравнение энергоэффективности двух типов преобразователей частоты (с промежуточным звеном постоянного тока и матричного) при управлении асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором. Для осуществления анализа на кафедре АЭП «НИУ МЭИ» был собран стенд, состоящий из матричного преобразователя фирмы YASKAWA U1000, управляющего асинхронным двигателем, и нагрузочного устройства в виде двигателя постоянного тока независимого возбуждения. МПЧ в ходе исследования может быть заменен на преобразователь с промежуточным звеном постоянного тока: Siemens Simovert Master Drives.

Для двух видов ПЧ будет проведено сравнительное исследование характеристик электропривода при скалярной (датчиковой и бездатчиковой) и векторной (датчиковой и бездатчиковой) системах управления.

Литература

1. **M.M. Usufov** Application of modern frequency converters as a way to improve energy saving in the housing sector. — SPbSEU, 2014
2. **O.O. Varfolomeev, V.V. Burlaka** Review of methods of matrix converters control. — Pryazovskyi State Technical University, 2012

М.О. Неретин, студ.; Е.К. Самыгина, асп.;
рук. Л.Н. Рассудов к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ», Москва)

УЧЕТ ФИЗИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ КООРДИНАТ СЕРВОПРИВОДА ПРИ ГЕНЕРАЦИИ ТРАЕКТОРИИ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА

На сегодняшний день прямые сервоприводы на базе синхронных электрических машин с постоянными магнитами (СМПМ) широко применяются в прецизионном машиностроении. [1]. Для обеспечения высокой траекторной точности важно соответствие траектории движения физическим характеристикам привода. Помимо этого для повышения энергоэффективности сервопривода желательно выполнять транспортные перемещения с минимальными энергетическими потерями [2]. Одним из эффективных способов решить данные задачи является учет физических ограничений привода при генерации траекторий (ГТ) [3].

Существует два вида физических ограничений координат привода: технологические ограничения (задаваемые пользователем) и физические ограничения аппаратной части. Как правило, для экономии вычислительных ресурсов в ГТ учитываются только пользовательские ограничения, однако учет физических ограничений также необходим для точной отработки траектории. В современной литературе вопросы оптимизации потерь при транспортных перемещениях и учета ограничений координат рассматриваются, как правило, раздельно [2].

В данной работе рассматривается комплексный подход к учету физических ограничений привода и оптимизации энергетических потерь при генерации траекторий. Для усовершенствования был выбран генератор, формирующий задания положения и трех его производных (ГТ третьего порядка). Результатом работы станет ГТ, автоматически учитывающий ограничения сервопривода, также дающий возможность оптимизации потерь в стали, в меди и потерь на трение.

Литература

1. **Балковой А.П., Цаценкин В.К.** Прецизионный электропривод с вентильным двигателем. Москва: Издательский дом МЭИ, 2010 — 328 с.
2. **O. Tolochko, P. Rozkariaka.** «Asymmetric reference trajectories for energy efficiency position electric drives» in Proc. 2018 X International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS), 2018.
3. **M. Bychkov, V. Kuznetsova.** «Optimum and quasioptimum control of the position electric drive by criterion of electric losses minimum» in Proc. 25th International Workshop on Electric Drives (IWED), 2018.

А.А. Дмитриев, студ.; А.К. Котельникова, студ.;
рук. А.С. Анучин, д.т.н., доцент (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ НА ПЛИС ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В ВИДЕ МАНЧЕСТЕРСКОГО КОДИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В системах управления электроприводами актуальными являются вопросы надежности передачи и обработки информации. В докладе рассматривается вопрос реализации приема и обработки сигма-дельта модулированного сигнала, представленного в виде Манчестерского кодирования [1]. Данное кодирование имеет следующее преимущество: оно является самосинхронизирующимся, то есть не требует специальной кодировки синхроимпульса. Процесс декодирования входного битового потока осуществляется с помощью программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС), так как она имеет преимущество над микроконтроллерами в связи с наибольшим быстродействием.

Основной задачей при приеме данных является задача синхронизации входного битового потока с тактовой частотой модуля, выполняющего заявленные функции. В работе представлен способ синхронизации методом двойного Д-триггера, что позволяет избежать метастабильного состояния входа [2]. Также представлена синхронизация, позволяющая корректно определить значение каждого бита входных данных и произвести декодирование входного сигнала.

Результатом работы является разработка модуля на ПЛИС, осуществляющего прием, дешифровку и обработку Манчестерского сигнала.

Литература

1. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Манчестерское_кодирование
2. URL: https://habr.com/ru/post/254869/

А.А. Пенин, студ.; рук. А.Н. Ладыгин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ ГРАДИРНИ

Исследования систем управления производительностью вентилятора градирни на базе частотно-регулируемого электропривода являются сегодня весьма актуальными, т.к. такие системы позволяют повысить энергоэффективность градирни, а также позволяют гибко регулировать температуру воды вне зависимости от параметров окружающей среды [1]. Проведение экспериментов на подобном объекте в промышленных условиях является сложной задачей, поэтому наиболее приемлемым является проведение исследований на модели.

Применяемая математическая модель системы представляет собой структуру, состоящую из ПИ-регулятора температуры охлажденной воды, который вырабатывает задание на скорость вращения частотно-регулируемого асинхронного двигателя вентилятора градирни [2]. Кроме того, модель содержит динамические звенья, отражающие работу вентилятора и сам процесс охлаждения воды. Для того, чтобы модельные исследования были более адекватными действительности и позволяли достовернее отражать процессы в системе и влияние настройки параметров ПИ-регулятора, на базе стенда лаборатории НОЦ «Шнейдер Электрик — МЭИ» был создан физический макет системы управления электроприводом вентиляторной градирни.

Макет системы включает в себя асинхронный двигатель, преобразователь частоты Altivar 630 и промышленный контроллер Modicon M251, который используется с целью симуляции реального процесса охлаждения воды вентиляторной градирни.

В докладе представлены характеристики разработанного физического макета, а также результаты проведенных на нем исследований системы автоматического регулирования температуры охлажденной воды вентиляторной градирни.

Литература

1. **Пономаренко В.С.** Градирни промышленных и энергетических предприятий / В. С. Пономаренко, Ю. И. Арефьев. — М.: Энергоатомиздат,1998–376 с.
2. Математическая модель САУ вентиляторной градирни./ Чернышев Н. Н., Н. А. Гришаев. [Электронный ресурс]. — URL: http://masters.donntu.org/

Н.Д. Виноградов, И.В. Мокрецкий, студ.;
рук. С.К. Лебедев, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫЕ МОДУЛИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ С МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ПД- И ПИД-РЕГУЛЯТОРАМИ

Электромехатронные модули позиционирования (ЭММП) находят широкое применение в многокоординатных металлорежущих станках с цифровым управлением, промышленных роботах различного назначения и электромобилях [1,2]. Поэтому разработка и анализ ЭММП является актуальной темой. С этой целью были предложены ЭММП с модифицированными ПД- и ПИД-регуляторами (рис. 1,2).

Выполнен синтез и анализ разработанных ЭММП с использованием символьных преобразований в *MathCAD*. Получены временные и частотные характеристики. Произведена оценка робастности ЭМП в условиях фиксированной настройки регулятора при вариации инерционности механики.

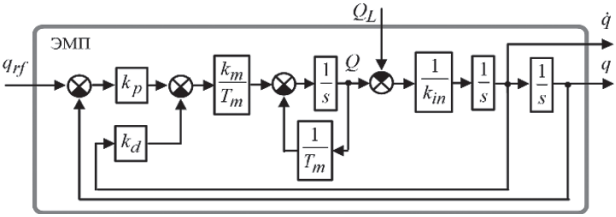


Рис. 1. Структура ЭММП с модифицированным ПД-регулятором

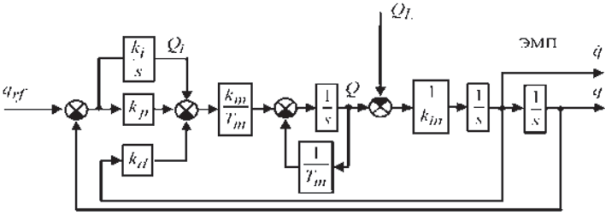


Рис. 2. Структура ЭММП с модифицированным ПИД-регулятором

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. **Колганов А.Р.** Электромеханотронные системы. Современные методы управления, реализации и применения/А. Р. Колганов, С.К. Лебедев, Н.Е. Гнездов. — Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. — 256 с.

А.А. Алексеев, студ.; рук. М.С. Куленко, к.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)

МЕТОДЫ АВТОНАСТРОЙКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОДАЧИ

Для обеспечения наибольшей точности при высокоскоростной обработке на металлорежущих станках важную роль играет выбор структуры системы управления. Традиционно, в промышленности она строится по методу подчиненного регулирования и состоит из контуров тока и положения, иногда с промежуточным контуром скорости. Чем большего качества функционирования системы мы хотим добиться, тем сложнее будет выглядеть структура регуляторов, а значит, число настраиваемых параметров увеличится. Чем их больше, тем сложнее подобрать их оптимальным образом — следовательно, возникает необходимость в механизме автоматической настройки. Были исследованы методы автонастройки регуляторов тока и положения.

Настройка коэффициентов регулятора тока производится на модульный оптимум по известным значениям сопротивления и индуктивности статора двигателя. Если они неизвестны — проводится их идентификация согласно [1].

Регулятор положения в прецизионном электроприводе может состоять из двух частей: непосредственно ПИД-регулятор и упреждающие (прямые) связи. ПИД-регулятор настраивается на заданную полосу пропускания и запас по фазе на основе идентификации дискретной передаточной функции объекта управления и подбора коэффициентов по модифицированному методу Зиглера-Никольса [2].

Упреждающие связи, представляющие собой производные от задания с некоторыми коэффициентами, позволяют улучшить качество обработки. Для их настройки проводится идентификация приведенного момента инерции, а также моментов сухого и вязкого трения и последующий расчет коэффициентов упреждения на основе найденных величин [3].

На основе рассмотренных методов был разработан программный инструмент IntAutoTune, позволяющий проводить быструю и эффективную процедуру настройки регуляторов.

Литература

1. **Виноградов А.Б.** Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». — Иваново, 2008. — 320 с.
2. Automatically tune PID gains [Электронный ресурс]. URL: https://www.mathworks.com/help/slcontrol/ug/closedlooppidautotuner. html
3. Method and apparatus for automatically tuning feedforward parameters: US6470225, US, Stephen Yutkowitz, Patent USA, 1999.

К.К. Ермаков, студ.; рук. П.В. Вилков, к.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В данной работе рассматривается синтез модели системы управления специальным манипулятором, предназначенного для решения задач в зоне, где работа человека (его непосредственное присутствие) невозможна или опасна для его жизни.

Для обеспечения рабочих режимов данной системы не требуется высокая точность отработки положения, поскольку основным критерием оценки работоспособности является возможность оператора непрерывно управлять перемещением захватного устройства манипулятора в рабочей зоне.

В ходе работы были решены прямая и обратная задачи кинематики для отечественного 6-осевого манипулятора специального назначения «Гелиос». Методом однородных координат получена ориентация и положение захватного устройства в глобальной системе координат по известным шарнирным координатам [1]. Для наиболее точного соответствия модели реальному манипулятору получены уравнения Лагранжа для каждого звена манипулятора [2], из которых получены коэффициенты инерции его звеньев. Определены коэффициенты регуляторов положения для каждого звена методом настройки на распределение корней по Бесселю, Баттерворту и Ньютона. Сравнительный анализ показал, что наилучший результат достигается с использованием фильтров Бесселя, поэтому дальнейшая настройка каждого регулятора была ориентирована на динамику Бесселя. Таким образом, синтезирована система управления на основе ПИД регуляторов.

Проведены испытания модели, подтвердившие ее адекватность реальному прототипу манипулятора специального назначения.

Дальнейшая работа над проектом предполагает реализацию системы управления на испытуемом прототипе и исследование работоспособности полученной системы в различных условиях.

Литература

1. **Лебедев С.К., Колганов А.Р.** Управление движением промышленных манипуляторов: Учебник/ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». — Иваново, 2018. — 348с.
2. **Ноф, Ш.** Справочник по промышленной робототехнике / Ш. Ноф. — М.: Машиностроение, 1989.

Е.А. Дементьев, студ.; рук. М.С. Куленко, к.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОТОТИПА БИОНИЧЕСКОЙ РУКИ НА ОСНОВЕ ШАГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Развитие технологий способствует появлению новых методов достижения поставленных целей. В частности, изобретение технологии 3D-печати позволило ускорить и удешевить процесс создания прототипов моделей и объектов, а появление на глобальном рынке доступных универсальных контроллеров с широкой возможностью аппаратного расширения, подобных Arduino Uno, увеличило спектр создаваемых автоматизированных систем. Совокупное применение вышеописанных технологий на сегодняшний день обретает все большую популярность у молодого поколения.

Целью работы является создание системы управления движением прототипа бионической руки, функционирующего на основе шагового электропривода, для копирования движений оператора. Прототип обладает функциональностью предплечья, кисти и пальцев руки человека.

Разработаны 3D-модели функциональных узлов бионической руки, которые воссозданы посредством 3D-печати. Также спроектирована 3D-модель экзоперчатки для отслеживания движений руки оператора.

Исходя из общедоступности и дешевизны, выбран контроллер Arduino Uno для управления приводами рабочих органов частей бионической руки. Для контроля движения экзоперчатка была оснащена датчиковой системой на основе акселерометров Arduino.

Разработана модель системы управления прототипом в среде имитационного моделирования Simulink программного комплекса Matlab и проведены испытания, на основе которых построена траектория движения отдельных звеньев бионической руки [1].

В дальнейшем планируется проведение испытаний полученной системы управления на созданном прототипе, а также организация обратной связи между бионической рукой и экзоперчаткой, позволяющей оператору осязать объекты, расположенные в схвате бионической руки.

Литература

1. **Лебедев С.К., Колганов А.Р.** Управление движением промышленных манипуляторов: Учебник / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». — Иваново, 2018. — 348 с.

Д.С. Зайцев, соиск.; рук. М.С. Куленко, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ НЕЧЁТКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Простота, надёжность и низкая стоимость вентильно-индукторного двигателя (ВИД) создают предпосылки для его повсеместного применения. Однако, усложнение структуры системы управления, связанное с необходимостью учета множества факторов, влияющих на процессы регулирования момента и скорости ВИД, проблемы при больших производных возмущений по каналу задания и возмущения, вынуждает искать иные варианты решения задач управления в рамках традиционных структур для получения качественного регулирования этих параметров в широком диапазоне [1].

Одним из возможных вариантов является использование регулятора скорости, основанное на коррекции коэффициентов пропорционально-интегро-дифференциального (ПИД) регулятора скорости двигателя на основе нечётких алгоритмов, достоинства которых заключаются в эффективном управлении в условиях неопределённости и отсутствии необходимости большого объёма информации об объекте регулирования.

Предложенный метод реализован в математической модели и сопоставлен с системой, использующей ПИД-регулятор без коррекции параметров. Полученные результаты показали, что в системе с нечеткой коррекцией возможно получение высокого качества регулирования при управлении ВИД. Это говорит о возможности применения таких систем в задачах управления ВИД и перспективах дальнейших исследований применения нечетких алгоритмов в задачах управления коммутацией фаз вентильно-индукторного двигателя, в том числе и для снижения вибро-акустических показателей работы двигателей такого типа.

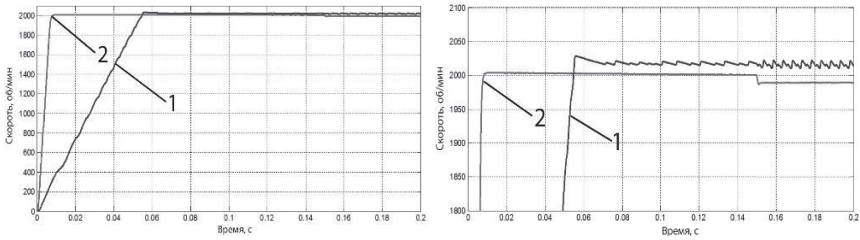


Рис. 1. Диаграммы работы системы управления ВИД с ПИД-регулятором без коррекции (1) и с нечеткой коррекцией (2)

Литература

1. **Bilgin B**. Switched Reluctance Motor Drives: Fundamentals to Applications / Jiang J. W., Emadi A. — CRC Press, 2018. — P. 794.

Н.И. Паскалов, студ.; рук. Л.Н. Рассудов, к.т.н. (НИУ «МЭИ», Москва)

СОЗДАНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ТРАНСПОРТНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

Одно из новых направлений в создании прецизионных систем — построение масштабируемых транспортных производственных систем, предназначенных для транспортировки технологического изделия (например, полупроводниковых кристаллов) в рамках высокоточных производственных линий на существенные расстояния. Для этих задач используются прямые приводы на базе синхронных машин с постоянными магнитами. При этом статор состоит из набираемых сегментированных якорей, а возбуждение находится на подвижной части. Такая конструкция обеспечивает возможность непрерывного перемещения подвижной части от якоря к якорю, позволяя управлять позицией сразу нескольких подвижных частей в широком диапазоне перемещений за счет использования распределённой системы управления движением на базе промышленных протоколов реального времени.

Настоящая работа направлена на развитие функционала графического интерфейса пользователя описанной транспортной системы. Необходимо создать программный модуль, позволяющий отображать графики физических величин на базе программного обеспечения TwinCAT 3 [1]. В рассматриваемом случае программное обеспечение устанавливается на ПК, реализуя функции человеко-машинного интерфейса и ПЛК. Управление силовыми преобразователями осуществляется по EtherCAT в соответствии с протоколом CanOPEN стандарт DS-402. Особенность задачи заключается в необходимости масштабирования решения. В рассматриваемом объекте 4 якоря и две подвижные части, что является минимальной конфигурацией разрабатываемой системы. Полученный результат позволит ускорять процессы диагностики, наладки описанных транспортных систем.

Литература

1. **Beckhoff Automation.** TWINCAT 3. Электронный ресурс. URL: https://www.beckhoff.com/english. asp?twincat/te2000. htm.

А.А. Корунец, студ.; рук. Л.Н. Рассудов, к.т.н. (НИУ «МЭИ», Москва)

ОПТИМИЗАЦИЯ СЕГМЕНТИРОВАННОЙ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Синхронные машины с постоянными магнитами с сегментированным якорем находят все более широкое применение в машиностроении в связи с широкими возможностями по масштабированию и резервированию системы. В зависимости от схемы подключения машины к электрическому преобразователю возникают задачи, связанные с согласованием электрических параметров.

Настоящая работа посвящена вопросам оптимизации конструкции сегмента якоря для работы от преобразователя, параметры которого заданы. На основании вычислений, выполненных методом конечных элементов, для работы с заданным инвертором получаются механические характеристики электромеханического преобразователя. Задача — получить требуемые характеристики [1] на основании оптимизации машины, проведенной методом конечных элементов. Рассматривается синхронная машина с постоянными магнитами с дробным q (числом пазов на полюс и фазу). Дополнительно анализируется возможность снижения пульсации силы за счет внесения конструктивных изменений, в т.ч. и изменения q. Результаты будут использованы для создания макета прямого сервопривода с системой управления, построенной на «системе на кристалле» [2], в котором также можно осуществлять внутреннее резервирование за счет физического разнесения вычислений в рамках одного кристалла. Это позволит исследовать, во-первых, возможности резервирования таких систем, когда при неработоспособности одного из сегментов в результате отсутствия силового питания, выхода из строя преобразователя и тп., остальные сегменты продолжат свою работу. Во-вторых, определить варианты синхронизации сегментов якоря для согласованной работы. В-третьих, создать прототип компактного стенда, позволяющего производить испытания инверторов напряжения, где электромеханические преобразователи испытуемого и нагрузочного приводов интегрированы.

Литература

1. **Rassudov** Optimization in Servo Motion Control: Considering Hardware Constraints/ L. Rassudov, A. Balkovoi //2018 25th International Workshop on Electric Drives: Optimization in Control of Electric Drives (IWED), Moscow, Russia. Jan 31 — Feb 02, 2018. DOI: 10.1109/IWED. 2018.8321398
2. **Рассудов Л.Н.** Использование аппаратного ускорителя на базе плис в системах управления электроприводов / Рассудов Л.Н., Анучин А.С., Балковой А.П., Гуляев И.В. //Промышленная энергетика. — 2016 — № 3. — С. 40–43.

А.М. Магомедов, студ.; рук. А.М. Захаров, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СЕТЕВОГО НАСОСА

На сегодняшний день уровень автоматизации предполагает использование автоматизированного и автоматического приводов. Автоматическое управление имеет ряд преимуществ над ручным: экономия электроэнергии за счет обеспечения оптимального КПД технологического процесса, уменьшение износа оборудования, повышение надежности его эксплуатации, снижение уровня шума и т.д. В качестве управления насосных установок применяются электроприводы на базе синхронных и асинхронных двигателей, статорные обмотки которых питаются от полупроводниковых преобразователей частоты.

Основой для проекта послужила система водоснабжения Каспийской ТЭЦ, а именно сетевой насос СЭ-1250-140-11. Для этого насоса были подобраны асинхронный двигатель ДАЗО4-450У-4МТ2 и высоковольтный преобразователь частоты Siemens Perfect Harmony. После расчета параметров необходимых для проведения эксперимента, была разработана модель электропривода насоса в программной среде MATLAB/Simulink [1]. MATLAB-модель позволяет в реальном времени производить исследования статических и динамических режимов работы. В результате моделирования были получены переходные процессы момента, напора и скорости при пуске и изменении производительности, которые позволяют оценить электромагнитные процессы, происходящие в системе.

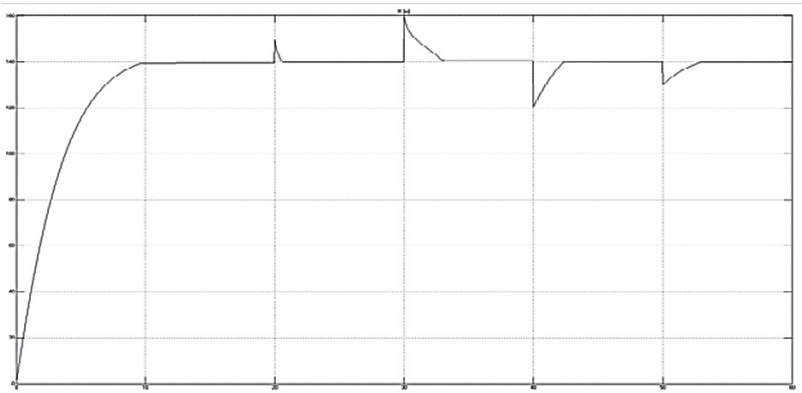


Рис. 1. Переходные процессы напора при пуске и изменении производительности

Литература

1. **Герман-Галкин С.Г.** Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: учебное пособие // С.Г. Герман-Галкин. — СПб.: КОРОНА принт. 2001. — 320 с.. ил. ISBN 5-7931-0158-6.

С.С. Еременко, асп.; О.В. Ткачук, студ.;
рук. В.Ю. Карандей к.т.н., доц. (ФГБОУ ВО «КубГТУ», Краснодар)

ПУТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ РАЗЛИЧНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Проведя исследование ряда статей подобной тематики [1,2,3], можно сделать вывод о том, что при использовании электрического привода асинхронных машин двойного питания (АМДП), является более актуальным, чем использование электрических приводов с двигателями другого характера. Ранее уже были изучены перспективные отрасли применения электропривода с АМДП.

Исследования показали, что при использовании АМДП, данный привод имеет ряд недостатков, с которыми приходит сталкиваться. А именно: ограничение диапазона регулирования скорости МДП; уменьшение жесткости механических характеристик при снижении скорости; ступенчатое регулирование скорости; сложная система управления.

Одна из главных задач на сегодняшний день — изучение подробных характеристик АМДП. Для этого принято решение смоделировать математическую модель электропривода с АМДП и получить улучшенные ее характеристики, а так же провести численные расчеты.

На основании вышесказанного сделаем соответствующие выводы:

— АМДП имеет относительно высокие потенциальные возможности улучшения эксплуатационных характеристик;

— с экономической точки зрения АМДП имеет широкий диапазон регулирования скорости вращения вала, по сравнению с аналогичными размерами и стоимостью машины постоянного тока, что ранее было доказано в работе [2].

Литература

1. **Карандей В.Ю., Афанасьев В.Л.** Математическое моделирование специальных электрических приводов для оборудования нефтегазовой отрасли. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 132. С. 926–940.
2. **Карандей В.Ю., Квочкин В.В., Афанасьев В.Л., Кишко В.Н. Определение** магнитных параметров модели статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода цилиндрической конструкции. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 133. С. 1231–1248.
3. **Popova O.B., Popov B.K., Karandei V.Yu., Evseeva M.A.** Analysis of forecasting methods as a tool for information structuring in science research. BritishJournalofAppliedScience& Technology. 2016. Т. 17. № 2. С. 9–19.

В.Л. Афанасьев, асп.; Е.П. Ермоленко, студ.;
рук. В.Ю. Карандей к.т.н., доц. (ФГБОУ ВО «КубГТУ», Краснодар)

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АКСИАЛЬНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ В РАЗЛИЧНЫХ БУРОВЫХ УСТАНОВКАХ

Буровое оборудование нашло широкое применение в сфере деятельности человека: бурение скважин под воду, опоры ЛЭП, газовых и нефтяных и д. р. Главным элементом буровой установки является буровой двигатель. На данный момент в буровых установках все более широко применяются электрические приводы переменного тока [1].

При рассмотрении конструкции электрических приводов применительно к буровым установкам, наиболее перспективным является применение аксиальных приводов, так как их конструктивная особенность положительно скажется на габаритных и технических характеристиках. Баланс у данного типа двигателя равномерен и при работе не создается противодействующих моментов, что позволяет снизить требования к талевым подвесам и всей подвесной конструкции в частности.

Применение управляемого каскадного электрического привода в буровых установках позволит приобрести буровой установке не только меньшие массогабаритные показатели, но и получить улучшенные характеристики [2,3]. Так как аксиальный управляемый каскадный электрический привод позволяет получать номинальное значение вращающего момента даже при минимальной скорости или же получить удвоенное значение синхронной скорости при номинальном моменте или удвоенный момент при номинальной синхронной скорости вращения.

Данные свойства позволят в некоторых случаях отказаться от применения редукторов, что будет являться ключевым преимуществом перед конкурентами.

Литература

1. **Popova O.B., Popov B.K., Karandei V.Yu., Shevtsov Yu.D., Klyuchko V.I.** Theoretical propositions and practical implementation of the formalization of structured knowledge of the subject area for exploratory research. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. Т. 722. С. 432–437.
2. **Карандей В.Ю., Афанасьев В.Л.** Математическое моделирование специальных электрических приводов для оборудования нефтегазовой отрасли. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 132. С. 926–940.
3. **Карандей В.Ю., Кишко В.Н., Афанасьев В.Л., Квочкин В.В.** Определение магнитных параметров модели статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода аксиальной конструкции. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 134. С. 1135–1151.

В.Л. Афанасьев, асп.; Р.А. Шульга, студ.;
рук. В.Ю. Карандей к.т.н., доц. (ФГБОУ ВО «КубГТУ», Краснодар)

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОМПОНЕНТА УПРАВЛЯЕМОГО КАСКАДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА АКСИАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

При разработке бурового оборудования большое внимание уделяется основному силовому элементу — приводу. К нему применяются особые требования: изменение крутящего момента и частоты вращения в широких пределах, достаточная надежность, долговечность, небольшая масса и габариты. Одним из перспективных видов электрических приводов для буровых установок является управляемый каскадный электрический привод аксиальной конструкции.

Для того чтобы разработать привод соответствующий высоким требованиям бурового оборудования необходимо применять новые методики расчета [1]. Большой трудностью в разработке электрических приводов, является расчет электромагнитной системы, особенно при изменении положения ротора, в частности определение магнитных сопротивлений в зазоре [2,3].

Разработанная математическая модель рассматривается как совокупность отдельных элементов: ярмо статора, зубцовой зоны статора, воздушного и т.д., каждый элемент имеет свое магнитное сопротивление и свою магнитную индукцию. Данный метод позволит повысить точность расчета по сравнению с классической теорией расчета. В ходе проведенного исследования были получены следующие значения магнитных сопротивлений в зависимости от угла поворота ротора табл. 1.

Табл. 1. Магнитное сопротивление воздушного зазора.

Rδ [Ом]	Угол поворота°					
	0	α	2α	3α	4α	5α
1	498600	511700	511700	499100	501500	508100

Литература

1. **Карандей В.Ю., Афанасьев В.Л.** Математическое моделирование специальных электрических приводов для оборудования нефтегазовой отрасли. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 132. С. 926–940.
2. **Popova O.B., Popov B.K., Karandei V.Yu., Evseeva M.A.** Analysis of forecasting methods as a tool for information structuring in science research. British Journal of Applied Science & Technology. 2016. Т. 17. № 2. С. 9–19.
3. **Popova O.B., Popov B.K., Karandei V.Yu., Shevtsov Yu.D., Klyuchko V.I.** Theoretical propositions and practical implementation of the formalization of structured knowledge of the subject area for exploratory research. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. Т. 722. С. 432–437.

А.А. Чепига, студ.; рук. А.С. Анучин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СТАБИЛИЗАЦИЯ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ ВЕТРОУСТАНОВОК С СИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ ПРИ ПОМОЩИ ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

С увеличением количества ветровых станций с установленной мощностью возникает ряд вопросов, требующих дополнительных исследований. Так при параллельной работе ветроэлектростанций с энергосистемой в ряде случаев из-за колебаний мощности, выдаваемой в сеть, не обеспечивается качество напряжения, которого требует ГОСТ 13109–97. Причиной этого может быть как нестабильность скорости ветра, так и конструктивные особенности ветроустановок [1]. Для решения этой проблемы требуется совершенствование системы регулирования и разработка методов математического моделирования режимов работы ветроустановок [2].

В данной работе на базе синхронного генератора с постоянными магнитами была синтезирована система регулирования ветрогенераторной установки, которая способна обеспечивать режим стабилизации мощности путем использования принципов векторного регулирования.

Результаты моделирования показали, что предложенная система регулирования, которая работала в режиме отбора максимальной мощности, при увеличении скорости ветра до уровня выше номинальной перешла в режим стабилизации мощности. В этом режиме скорость вращения генератора удерживается регулировкой pitch-угла, а стабильность активной мощности обеспечивается быстродействующей системой векторного регулирования момента генератора.

Предлагаемая в данной работе двухконтурная система стабилизации мощности ветроустановки, в которой функции регулирования скорости вращения ветроколеса и момента генератора распределены между системой pitch-регулирования и системой векторного регулирования соответственно, позволяет снизить уровень колебаний активной мощности генератора примерно на порядок по сравнению с концепцией прямого подключения синхронного генератора к сети, что, безусловно, положительно сказывается на качестве сетевого напряжения с точки зрения соответствия его требованиям ГОСТ.

Литература

1. **F. Briz, J. M. Guerrero, D. Reigosa, D. Fernandez, C. Lumbreras**. «Inductorless boost rectifier for small power wind energy converters», IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Sep. 2016, pp. 1–6.
2. **Erich Hau**. Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics. — 2nd edition. — Springer — Verlag Berlin Heidelberg, 2006. — 783 pag.

Я.М. Малькова, стд.; А.И. Данцевич, стд.;
рук. Б.Ю. Васильев, к.т.н., доц. (СПГУ, Санкт-Петербург)

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ДВУХДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С МОДУЛЬНЫМ МНОГОУРОВНЕВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ (ММП)

На сегодняшний день современные промышленные предприятия должны обеспечивать не только качество и высокую производительность продукции, но и эффективно использовать энергетические ресурсы.

Существующие российские производства, как правило, не могут обеспечить минимальное энергопотребление, так как используют высоковольтные преобразователи частоты на основе двухзвенных схем. С помощью активных преобразователей таких, как ММП, возможно не только оптимизировать потребление электрической энергии, но и улучшить эксплуатационные характеристики производства и обеспечить повышенные показатели электромагнитной и энергетической совместимости. Однако широкое использование ММП требует усовершенствования существующих алгоритмов управления. Таким образом, целью работы является повышение энергоэффективности промышленного предприятия. Для достижения цели был поставлен ряд задач:

- моделирование ММП с синусоидальной ШИМ со сдвинутыми по амплитуде несущими сигналами;
- моделирование ММП с синусоидальной ШИМ со сдвинутыми по фазе несущими сигналами;
- разработка алгоритма выравнивания напряжений на конденсаторах в модулях преобразователя и его моделирование;
- разработка алгоритма выравнивания нагрузок между приводными машинами при использовании двухдвигательного электропривода (ДЭП) и его моделирование;

Новизна исследований заключается в усовершенствовании двигательного и модуляционного алгоритмов управления ДЭП. В результате исследований сделан вывод, что усовершенствование модуляционной системы управления ММП позволит адаптировать данные преобразователи для широкого применения в промышленных электроприводах. Что позволит повысить технико-экономические показатели предприятия, за счет снижения себестоимости продукции.

К.С. Смирнов, студ.; рук. П.В. Вилков, к.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)

ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ДРОССЕЛЬНОЙ ЗАСЛОНКИ

В настоящее время электронные системы управления электроприводом дроссельной заслонки находят широкое применение в автомобилестроении. И это касается не только спортивных моделей, но и бюджетных линеек автомобилей.

Так для увеличения мощности автомобильных двигателей применяется электромеханическая система, состоящая из электродвигателя постоянного тока и приводимой им в движение дроссельной пластинки. От точности управления этой системой и настройки алгоритмов ее работы зависит не только мощность двигателя, но и расход топлива.

В результате проведенного тестирования и анализа работы электронной системы управления электроприводом дроссельной заслонки на лабораторных стендах инженерами получены параметры ПИД-регулятора, реализованного с помощью высокопроизводительной среды типа сервер-клиент (xPC Target). При этом для эффективной работы системы была предложена нелинейная схема управления, основанная на методе обратной связи «вход-выход» [1].

Однако в процессе эксплуатации автомобиля возникает необходимость изменить алгоритм работы двигателя. И эти изменения будут зависеть не только от способа вождения водителя, но и от погодных условий — будь то сухая, дождливая погода или гололед. В электронном блоке управления (ЭБУ) автомобиля запрограммирован один алгоритм управления, и для его изменения необходимо пользоваться услугами автосервиса.

Поэтому если в ЭБУ запрограммировать несколько алгоритмов работы и дать возможность системе самой определять рациональный режим работы двигателя, то можно будет наиболее эффективно использовать его возможности.

Таким образом, наша задача заключается в дальнейшей разработке эффективных алгоритмов управления электроприводом дроссельной заслонки для разных режимов работы двигателя, что сможет существенно увеличить его мощность, уменьшить расход топлива и снизить выбросы выхлопных газов.

Литература

1. Electronic Throttle Control System: Modeling, Identification and Model-Based Control Designs/ Robert N. K. Loh, Witt Thanom, Jan S. Pyko, Anson Lee // Engineering, 2013, 5, 587–600.

А.О. Кашканов; рук. А.Ю. Смирнов, д.т.н., доцент
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ РОТОРА ОДНОИМЁННО-ПОЛЮСНЫХ ИНДУКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

Известно, что основные размеры двигателей — длина и диаметр ротора определяющим образом зависят от выбранных электромагнитных нагрузок: линейной нагрузки A и индукции в зазоре B_δ, которые выбираются в установленных практикой электромашиностроения пределах.

В индукторных двигателях с постоянными магнитами кольцевой формы на роторе, намагниченными в аксиальном направлении (рис.), индукция в зазоре B_δ связана с известной остаточной индукцией магнита B_r через соотношение площадей зубцов и сечения магнита.

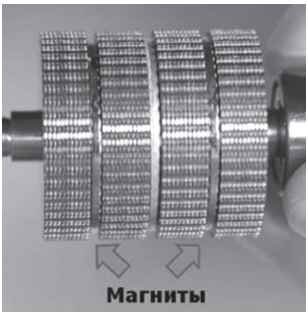


Рис. 1. Ротор индукторного двигателя с постоянными магнитами

При заданном числе магнитов $n_м$ отношение этих индукций определяет относительную, в долях от диаметра D, активную длину ротора λ

$$\lambda = \frac{0{,}219\left(1-\frac{3{,}478}{Z}\right)\left(1-\frac{1{,}675}{Z}\right)}{k_\sigma k_z}\frac{B_r}{B_\delta}n_м^2 \quad (1)$$

где k_σ — коэффициент рассеяния потока магнитов, k_z — относительная, по отношению к зубцовому делению, ширина открытия пазов ротора, Z — число зубцов на роторе.

С учётом этого коэффициента диаметр ротора составит

$$D = \sqrt[3]{\frac{0{,}637M}{k_z k_B \lambda A B_\delta}} \text{ [м]}, \quad (2)$$

где M — номинальный момент в [Н·м], k_B — коэффициент формы поля.

Количество магнитов на роторе $n_м$ подбирается исходя из условия обеспечения соотношения его момента инерции $J_р$ с моментом инерции привода $J_{пр}$ в диапазоне

$$J_{пр} = (1 \div 2)J_р, \quad (3)$$

который определяется по формуле для сплошного цилиндра с несплошным кольцом, представляющим зубцовую зону

$$J_р = 765{,}76D^5\left[\left(1-\frac{2{,}262}{Z}\right)^4(1-k_z)+k_z\right]\lambda. \quad (4)$$

Внедрение данных зависимостей, представленных автором, позволило уточнить методику проектирования двигателя в составе шагового привода.

Секция 26.
ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Председатель секции — Рубцов Виктор Петрович
Секретарь секции — Федин Максим Андреевич

С.С. Кондрашов, асп.; А.О. Кулешова, студ.;
рук-ль М.А. Федин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПЛАВЛЕНИЕ НАПЫЛЕННОГО ПРОВОДЯЩЕГО ПОКРЫТИЯ МЕТОДОМ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

Коррозионные процессы — причина износа труб нефтепроводов, технологического оборудования в металлургии, газотурбинных установок. Это заставляет осуществлять поиск технологий, которые бы позволили обеспечить существенное повышение ресурса работоспособности металлических деталей в агрессивных средах.

Рис. 1. Процесс напыления порошка с применением газопламенной горелки

Технология нанесения защитного покрытия разделяется на два этапа [1]: напыление порошка при помощи специальной газопламенной горелки (рис. 1) и последующее расплавление для фиксации на детали при помощи ацетиленовой душевой горелки [1]. Следует учитывать, что при нанесении покрытия на цилиндрические поверхности с диаметром от 150 мм и более применение ацетиленовой горелки невозможно из-за больших тепловых потерь пламени.

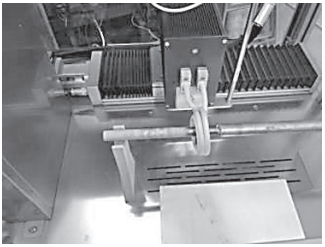


Рис. 2. Процесс оплавления покрытия с помощью индукционного нагрева

Для нанесения защитных покрытий на детали диаметром более 150 мм, увеличения адгезионной прочности, уменьшения пористости, ликвидации нерасплавленных частиц порошка в структуре покрытий технологию предлагается дополнить индукционной установкой [2], которая позволит осуществить быстрый нагрев поверхности до температуры оплавления нанесенного покрытия (1050 °С). На рис. 2 представлен процесс оплавления покрытия на лабораторной индукционной установке. Такое решение позволит наносить твердое коррозионностойкое покрытие на ответственные детали механизмов, работающих в условиях агрессивной среды.

Литература

1. **Кудинов В.В., Бобров Г.В.** Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. — М.: Металлургия, 1992. — 432 с.
2. **Установки** индукционного нагрева / Под ред. А.Е. Слухоцкого. — Л.: Энергоиздат, 1981. — 325 с.

С.С. Кондрашов, асп.; А.О. Кулешова, студ.;
рук-ль М.А. Федин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ДЛЯ ОПЛАВЛЕНИЯ НАПЫЛЕННОГО КОРРОЗИОННОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ

На сегодняшний день для борьбы с коррозией известна технология, использующая газопламенное напыление порошкового покрытия с его последующим оплавлением индукционным методом [1].

В процессе индукционного нагрева в заготовке из-за неравномерного распределения выделяющейся мощности возникает неравномерное распределение температуры, что приводит к термонапряжениям. Алгоритм расчета процесса оплавления индукционным методом с учетом термонапряжений (рис. 1) основывается на решении дифференциальных уравнений электромагнитных и тепловых процессов и реализован в специализированной программе *Induction Systems*.

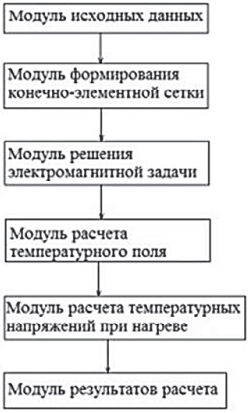


Рис. 1. Алгоритм расчета термонапряжений

Анализ результатов, полученных в программе *Induction Systems* для стальной заготовки диаметром 16 мм, длиной 120 мм, толщиной наносимого покрытия — 1 мм, твёрдостью HRC заготовки до нанесения покрытия — 21, показал, что применение индукционного нагрева при частотах 1 кГц, 100 кГц и 1 МГц нецелесообразно ввиду возникновения больших термонапряжений в заготовке. В связи с этим предлагается использовать частоту 35 кГц.

Результаты моделирования в программе *ELCUT* показали, что покрытие достигло нужной температуры оплавления 1100 °С. Расчеты в программе *Induction Systems* показывают, что максимум термонапряжений в центре составляет σ = 295 МПа, при этом $\sigma<\sigma_{текуч.}$ — значение напряжения меньше предела текучести. Твердость покрытия после оплавления заготовки составила 53 HRC.

Литература

1. **Федин М.А., Кулешова А.О.** Индукционная установка для оплавления напыленного коррозионностойкого покрытия. — «Радиоэлектроника, Электротехника и Энергетика»: Материалы XXV Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Тезисы докладов. — М.: Радуга, 2019. — С. 429.

С.В. Ахметьянов, асп.; рук. М.А. Федин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭФФЕКТ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА МНОГОСЛОЙНОЙ ПРОВОДЯЩЕЙ ЗАГРУЗКИ

Наиболее ярким примером проникновения электромагнитной волны (ЭМВ) в многослойную проводящую среду (МПС) является плавка магния в индукционной тигельной печи (ИТП) с ферромагнитным проводящим тиглем (ПТ) [1]. Можно выделить четыре режима работы печи (табл. 1).

Табл. 1. Режимы работы печи

Режим плавки	Холодный	Переходный	Горячий	Горячий с «захолаживанием»
Магн. проницаемость μ	μ >>1	μ >>1	μ =1	μ >1
Состояние шихты	Кусковая	Расплавленная	Расплавленная	Расплавленная
Температура тигля, °С	t < tпл	tпл < t < ТК	t > ТК	t > ТК

В холодном режиме до температуры плавления $t_{пл}$ загрузка представляет собой однослойное проводящее тело, поскольку ЭМВ практически полностью затухает в стенке тигля, магний в нем находится в виде шихты. В зависимости от толщины стенки ПТ в переходном режиме работы при $\delta_т/\Delta_{2т} \leq (2–3)$, где $\Delta_{2т}$ — глубина проникновения ЭМВ в стенку тигля толщиной $\delta_т$, загрузку можно считать двухслойным проводящим телом, при $\delta_т/\Delta_{2т} > (2–3)$ — однослойным. В горячем режиме из-за потери стальным ПТ ферромагнитных свойств, значение $\Delta_{2т}$ возрастает, и эффект индукционного нагрева двухслойного ПТ становится ярко выраженным. Из-за того, что у расплава удельное электросопротивление существенно ниже, чем у тигля, появляется обратная ЭМВ, отраженная от границы соприкосновения тигля с расплавом, которая приводит к изменению параметров поля в стенке тигля. В результате мощность в тигле, активное сопротивление и индуктивность системы «индуктор — загрузка» снижаются. Магний отбирает тепло от тигля, в результате чего происходит эффект «захолаживания» ПТ, температура внутренней поверхности которого снижается, и внутренний слой тигля становится магнитным. Поэтому в конце плавки загрузка может являться МПС, где магний и внешний слой тигля немагнитные, а внутренний слой тигля обладает магнитными свойствами. Также эффект нагрева МПС наблюдается не только в конце плавки, но и при каждой дозагрузке печи шихтой, обладающей большой теплоемкостью.

Литература

1. **Федин М.А., Кувалдин А.Б. и др.** Электротепловая модель и режимы работы индукционной тигельной печи с проводящим ферромагнитным тиглем // Вестник МЭИ. — 2019. — №5. — С. 91–100.

Е.Н. Туренкова, студ.; рук. И.Ю. Долгих, к.т.н. (ИГЭУ, Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ

Одной из прогрессивных электротехнологических операций является индукционный метод нагрева, широкий спектр преимуществ которого делает актуальным его использование. Так, например, выделение электрической энергии непосредственно в изделии, позволяет осуществлять его нагрев с высокой скоростью, пропорциональной вводимой мощности.

Для получения неразъёмных соединений тонких листов и массивных металлических конструкций может быть использована индукционная точечная сварка [1]. При её осуществлении цилиндрический индуктор накладывается над свариваемыми поверхностями в области необходимого соединения и осуществляет их нагрев до требуемой по технологии температуры, основываясь на бесконтактной передаче греющей мощности в требуемую область изделия. Внутри индуктора вдоль его оси располагается шток, сообщающийся с устройством, создающим усилие сжатия и обеспечивающим надежное прилегание деталей. С целью исследования данного процесса рационально применение современных методов компьютерного полевого моделирования на основе специализированных программных комплексов. Одним из них является COMSOL Multiphysics, позволяющий рассчитывать электромагнитные и температурные процессы индукционного нагрева [2].

Исследуемая модель разработана в двумерной осесимметричной постановке на примере точечной сварки двух стальных пластин в форме диска толщиной 1 мм и 9 мм соответственно и радиусом 50 мм. Источник питания обеспечивает режим работы со стабилизацией тока в индукторе. Вычислительные эксперименты выполнялись при варьировании частоты и величины тока для различных вариантов конструкции индуктора.

Проведённые исследования позволили определить рациональные параметры индукционной точечной сварки, обеспечивающие требуемые значения тепловыделения в объёме частей свариваемых деталей и, как следствие, заданный уровень нагрева. Полученные результаты подтвердили возможность получения неразъёмного соединения и позволили определить направления дальнейшего исследования.

Литература

1. Патент 2669138 Российская Федерация МПК B23 K 13/01. Способ односторонней индукционной точечной сварки разнотолщинных деталей и устройство для его осуществления / А.Н. Королёв, И.Ю. Долгих, Л.Б. Корюкин, Е.Н. Туренкова; опубл. 08.10.2018, Бюл. №28.
2. **Прахт В.А., Дмитриевский В.А., Сарапулов Ф.Н.** Моделирование тепловых и электромагнитных процессов в электротехнических установках. — М.: Изд-во «Спутник+», 2011. — 158 с.

Е.С. Герасименко, аспирант; рук-ль А.Б. Кувалдин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК «СИСТЕМЫ МНОГОСЛОЙНЫЙ ИНДУКТОР С МАГНИТОПРОВОДОМ — ЗАГРУЗКА»

Целью работы является определение энергетических характеристик (электрический КПД η и коэффициент мощности cos φ) осесимметричной системы «многослойный индуктор с магнитопроводом — загрузка» в зависимости от числа (N) и толщины слоев ($\delta_{сл1}$) индуктора, частоты (f), наличия и толщины (δ_3) магнитопровода (рис. 1). Размеры загрузки (алюминий): длина l_2 = 600 мм и диаметр d_2 = 200 мм. Индуктор выполнен из медной ленты, расположен в корпусе из диэлектрика и имеет внешнее охлаждение.

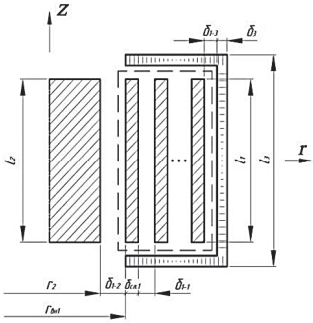


Рис. 1. Модель системы

Исследование проведено с использованием пакета *COMSOL*. Установлено, что оптимальным числом слоев для достижения наибольшего КПД является N = 6–8, при этом определены соответствующие значения толщин слоя индуктора и магнитопровода для каждой частоты.

Для индуктора с N = 6 с оптимальными значениями $\delta_{сл1}$ = 1,5; 2; 6 мм и δ_3 =6,8,10 мм получены следующие результаты:

— с увеличением частоты (f = 50, 500, 1000 Гц) КПД системы возрастает, а коэффициент мощности остается в пределах одного значения (соответственно η = 0,66; 0,67 и 0,68 и cos φ = 0,7);

— применение магнитопровода позволяет повысить КПД примерно на 2% при частоте 50 Гц и на 1% при частотах 500 и 1000 Гц.

Литература

1. **Кувалдин А.Б., Федин М.А., Герасименко Е.С.** Оптимизация параметров системы «многослойный индуктор-загрузка» с использованием магнитопровода / Фёдоровские чтения — 2019: XLIX Междунар. науч.-практич. конф. (Москва, 20–22 ноября 2019 г.) / под общ. ред. Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной. — [Электронный ресурс] М.: МЭИ, 2019. — 400 с. (С. 80–83)..

А.С. Булгаков, асп.; рук. М.Я. Погребисский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПО КОСВЕННОМУ ПАРАМЕТРУ

Современные технологические процессы, используемые в высокотехнологичных отраслях промышленности и в научных исследованиях, предъявляют повышенные требования к точности и качеству автоматического регулирования температурного режима.

Датчики температуры, используемые в системах автоматического регулирования температуры электропечей сопротивления (ЭПС), должны обладать минимальной тепловой инерционностью и длительным сроком службы. Наиболее часто в качестве датчиков используются термоэлектрические преобразователи (термопары), самыми термостойким из которых являются вольфрам-рениевые термопары (ТВР), предназначенные для длительной эксплуатации при экстремально высоких температурах (до 2300°С) в целом ряде как химически инертных, так и агрессивных сред. Из опыта эксплуатации термопар данного типа следует, что их применение при температурах 1950 °С и выше затруднено из-за малой механической прочности лейкосапфировой трубки при высокой температуре.

Датчикам температуры на основе фотоэлектрических пирометров присущи серьезные недостатки. В вакуумных печах с экранной теплоизоляцией измерение температуры фотоэлектрическим пирометром практически неосуществимо из-за отсутствия прямой видимости рабочего пространства. Измерение температуры нагревателя пирометром может быть выполнено только через смотровое окно. При проведении технологического процесса происходит загрязнение смотрового стекла, что в конечном итоге приводит к искажению результатов измерения температуры. Для прецизионных технологических процессов важна точность измерения значения температуры и надежность устройства в целом. Таким образом, прямое измерение температуры в высокотемпературных вакуумных ЭПС (свыше 1950°С) практически невозможно. Поэтому организация замкнутой системы регулирования температуры в таких печах возможна только при использовании принципа регулирования по косвенному параметру — удельному электрическому сопротивлению нагревателя. Этот способ применим к печам, нагреватели которых изготавливаются из материала, имеющего выраженную зависимость удельного сопротивления от температуры (к таким материалам относятся, в частности, молибден, вольфрам и другие тугоплавкие металлы).

М.А. Чусов, студ.; рук. В.П. Рубцов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАНЗИСТОРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ ДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Новой вехой в развитии ДППТ с недавнего времени стало использование принципиально новых высокоэффективных источников питания постоянного тока на IGBT-транзисторах. В основе работы транзисторных источников питания лежит принцип высокочастотной широтно-импульсной модуляции (ШИМ) входного постоянного нерегулируемого напряжения в регулируемое выходное заданного уровня. Транзисторные преобразователи энергии работают на частоте до нескольких десятков кГц и выполнены на базе современных IGBT-модулей, отличаются высокими КПД и коэффициентом мощности, обладают малым весом и размерами по сравнению с аналогичными по мощности тиристорными преобразователями, не требуют дорогостоящего и сложного в эксплуатации устройства переключения ступеней трансформатора.

Достоинства транзисторных источников питания:

— высокие коэффициент мощности и КПД;

— высокие быстродействие и качество регулирования электрического режима по сравнению с тиристорным выпрямителем благодаря использованию несущей частоты ШИМ на уровне нескольких кГц;

— возможность исключения реактора, обеспечивающего устойчивость горения дуги;

— гибкое регулирование вводимой в печь мощности;

Основные вопросы необходимые для проектирования транзисторного источника питания для ДППТ заключаются в следующем:

— определение необходимого количества параллельно работающих модулей и задача равномерного распределения нагрузки между ними;

— исследование величины перенапряжений возникающих при обрыве дуги;

— определение необходимого значения реактивного сопротивления системы, требующегося для устойчивого горения электрической дуги.

Данные вопросы целесообразно решать путем исследования целой системы, состоящей из импульсного источника питания, линии с заданными электрическими параметрами и непосредственно дуговой нагрузки. Учитывая сложность и нелинейный характер элементов составляющих такую систему, подобные исследования целесообразно проводить в системах компьютерного моделирования. Вопросы, относящиеся к данной теме исследования в отечественной литературе освещены довольно слабо.

А.Д. Гаманов, студент;
рук-ли М.А. Федин, к.т.н. доц., М.Н. Кузьмин, асс. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ИНДУКЦИОННОГО МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ ГЕКСАГОНАЛЬНОГО НИТРИДА БОРА

Гексагональный нитрид бора и материалы на его основе применяются при изготовлении огнеупорных материалов, для напыления на металлические поверхности и синтеза сверхтвёрдых абразивных материалов, в ядерной энергетике в качестве поглотителя нейтронов в реакторах и т.д. [1]. Потребление нитрида бора в мире растет с каждым годом, поэтому появляется необходимость разработки метода его производства.

Рассмотрим известные реакции получения нитрида бора [2]:

$$B_2O_3 + 3Mg + N_2 = BN + 3MgO \quad (1)$$

$$(NH_2)_2CO_2 + H_3BO_3 + H_3 = NB + CO_2 + H_2 \quad (2)$$

$$4B + NaN_3 + NH_4F = 4BN + NaF + 2H_2 \quad (3)$$

В реакции (2) мочевина $(NH_2)_2CO$ и борная кислота H_3BO_3 не взаимодействуют между собой при нормальных условиях. Для протекания реакции требуется обеспечить повышенное давление и нагрев в среде инертного газа (азота). Для проведения такой реакции необходимо выполнить многоступенчатый нагрев: разложение веществ на молекулы (1300 °C) и выдержка, создание новых молекул, сопровождающееся обильным выделением аммиака и углерода и выдержка (1600 °C), образование кристаллов и молекул нитрида бора (1800 °C).

Для концентрированного высокотемпературного нагрева синтезирующей шихты целесообразно применить индукционную установку косвенного действия, которая позволяет равномерно нагревать шихту и избегать локальных перегревов. Равномерный нагрев необходим для получения качественного гранулометрического состава продукта. К установкам косвенного действия, в которых возможно осуществить реакцию (2), относятся индукционным тигельные печи с графитовым тиглем.

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. **Дудченок Н.В., Червоний И.Ф.** Особенности технологии гексагонального нитрида бора // НАУЧНЫЙ ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ. — 2016. — №2. — С. 1–5.

В.О. Чубарова, асп.; рук. М.А. Федин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ДЛЯ АДДИТИВНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ МЕТОДОМ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА С ПОДАЧЕЙ ПРИСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА В ВИДЕ ПРОВОЛОКИ

Индукционный нагрев широко используется в различных технологиях обработки металлов. Суть индукционного нагрева заключается в использовании джоулевой теплоты, образующейся вследствие протекания вихревых токов через материал, индуцируемых изменяющимся внешним магнитным полем. Эта тепловая энергия приводит к местному разогреву металла. Однако, до настоящего времени индукционный нагрев, как источник энергии, не был применен для технологии аддитивного производства, где в качестве материала используется металлическая проволока [1]. Прогнозирование процессов тепломассопереноса является одной из основных задач при аддитивном формообразовании индукционным методом. Для решения этой задачи разрабатывается математическая модель, основанная на уравнении Лапласа-Пуассона при наличии внутренних источников теплоты и изменения агрегатного состояния материала проволоки [2]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\rho}\nabla^2 t + \frac{W}{c\rho} - \frac{L_m}{c}\cdot\frac{\partial \psi_m}{\partial t},$$

где T — температура, К; t — время, с; λ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); c — удельная теплоемкость вещества, Дж/ (кг·К); ρ — плотность вещества, кг/м^3; ∇^2 — оператор набла; W — количество теплоты, выделяемое внутренними источниками в единице объема за единицу времени при воздействии индуктора на металл, Вт/м^3; L_m — скрытая теплота плавления металла, Дж/кг; ψ_m — доля расплава в двухфазной области.

Литература

1. **В.О. Чубарова, М.А. Федин** Метод аддитивного формообразования, основанный на индукционном нагреве с подачей присадочного материала в виде проволоки // Сборник материалов XXV Международная научно-техническая конф. студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». М: НИУ «МЭИ», 2019. С. 424.
2. **А.В. Перминов, И.Л. Никулин** Математическая модель процессов тепломассопереноса и диффузии магнитного поля в индукционной печи // Инженерно-физический журнал. Белоруссия: НАНБ, 2016. Т. 89.№3.

Ю.М. Павлова, асп.; В.В. Окунева, доцент;
рук. А.Н. Макаров, д.т.н., проф. (ТвГТУ, Тверь)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПЕЧАХ CONSTEEL И ОБЫЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Рост выплавки стали в ДСП непосредственно связан с внедрением передовых технических и технологических разработок, позволяющих улучшить технико-экономические показатели производства качественной продукции.

В 2010-е годы появляются публикации о повышенном удельном расходе электроэнергии на печах Consteel по сравнению с современными печами обычной конструкции [1]. Для объяснения этого были проведены исследования, включающие расчеты и анализ электропотребления ДСП за 1989–2016 годы. В [2] приведены данные изменения удельного расхода электроэнергии в ДСП за 1980–2014 годы, воспользуемся ими. В начале 1980-х годов на ДСП-100, вместимостью 100 тонн жидкой стали, использовались трансформаторы 32–45 МВА, удельная мощность составляла 320–450 кВА/т стали, удельный расход электроэнергии 480–490 кВт×ч/т. В середине 1980-х годов для увеличения производительности печи ДСП-100 снабдили трансформаторами 60МВА, удельная мощность возросла до 600 кВА/т, производительность печей возросла.

Средний удельный расход электроэнергии на ДСП-120 Consteel АМЗ составляет 416 кВт×ч/т, на аналогичной по мощности и вместимости ДСП-120, оснащенной современными средствами интенсификации плавки средний удельный расход электроэнергии 375 кВт×ч/т [3]. Расчет КПД дуг электропечей ДСП-120, методика которого изложена в учебнике [2], а примеры расчета в статьях [4,5] позволяет объяснить причины повышенного расхода электроэнергии в ДСП-120 Consteel по сравнению с ДСП-120 обычной конструкции.

Библиографический список

1. **Тулуевкий Ю.Н., Зинуров И.Ю., Швер В.Г.** Новые возможности печей Consteel // Электрометаллургия. 2011. №6. С. 22–27.
2. **Макаров А.Н.** Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установках. СПб.: Лань, 2014. 384 с.
3. Модернизация сталеплавильного производства Ашинского металлургического завода/ В.Г. Евстратов [и др.] // Металлург. 2012. №9. С. 46–50.
4. **Макаров А.Н.** Изменение КПД дуг в процессе плавки в дуговых сталеплавильных печах // Металлург. 2017. №4. С. 55–58.
5. **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. p. 184–192. DOI: 10.4236/jemaa. 2014.67018.

А.В. Крупнов, асп.; А.Н. Макаров, д.тн., проф. (ТвГТУ, Тверь)

ШАХТНО-КОНВЕЙЕРНАЯ ДУГОВАЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНАЯ ПЕЧЬ

Для повышения эффективности и экономичности сталеплавильного производства целесообразно использовать отходящие горячие газы на нагрев загружаемого в печь лома. Такой способ применен в шахтных печах фирмы «Фукс Системтехник» [1] и конвейерных печах Consteel [1, 2]. Опыт их эксплуатации показал преимущества и недостатки каждой конструкции. Поэтому целесообразно объединить шахтную компоновку печи с конвейерной загрузкой, что позволит нагревать лом до необходимой температуры отходящими газами, а равномерная подача лома конвейером уменьшит тепловые потери и увеличит производительность печи.

На рис. 1. представлен концепт конструкции шахтно-конвейерной дуговой сталеплавильной печи (ДСП), который позволит нивелировать недостатки шахтных и конвейерных печей. Ожидаемая эффективная температура нагрева лома 400-450^{0}С, снижение удельного расхода энергии на 40–60 кВт·ч/т. по сравнению с классической ДСП и повышение производительности печи.

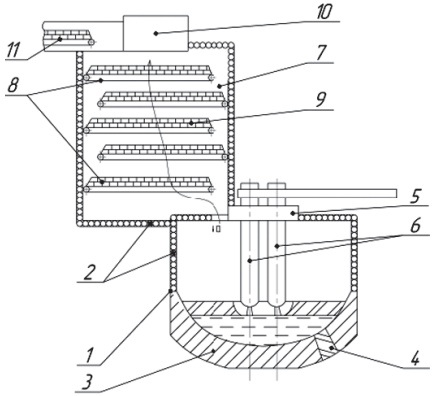


Рис. 1. Конструкция шахтно-конвейерной ДСП:

1 — корпус печи; 2 — водоохлаждаемые панели стен; 3 — футерованный под; 4 — отверстие для слива металла; 5 — свод; 6 — сводовые электроды; 7 — шахта; 8 — обогреваемый конвейер; 9 — подготовленные брикеты шихты; 10 — вытяжной колпак для удаления газов; 11 — питательный конвейер.

Литература

1. Особенности тепловой работы электропечи ДСП-120 Consteel на Ашинском металлургическом заводе/ В.Г. Евстратов [и др.] // Электрометаллургия. 2012. №8. С. 2–6.
2. Особенности выплави стали в электропечи ДСП-120 Consteel и пути её совершенствования / З.Х. Шакиров [и др.] // Электрометаллургия. 2013. №9. С. 2–7.

Е.П. Васильева, студ., рук. А.И. Алиферов, д.т.н. проф. (НГТУ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ВАКУУМНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Вакуумные электропечи сопротивления являются универсальными, применяемыми во многих отраслях промышленного производства и научных исследований. В них широко используется экранная тепловая изоляция. Главным недостатком таких установок является их сравнительно низкий тепловой КПД, составляющий 25–30%.

Альтернативой для экранной изоляции является комбинированная тепловая изоляция. Ее применение может значительно уменьшить тепловые потери электропечи сопротивления и использовать металлические экраны из менее дорогих материалов. Широкое применение такая изоляция нашла в установках с квадратным или прямоугольным сечением камеры печи, т.е. с плоской формой боковых стен печи.

В работе рассмотрена задача моделирования теплообмена в вакуумной цилиндрической электропечи печи сопротивления с комбинированной теплоизоляцией. Сформулирована физико-математическая модель для исследования взаимосвязи геометрических, теплофизических параметров комбинированной тепловой изоляции и теплового потока, проходящего через нее. Установлена зависимость максимальной мощности от толщины изоляции для различных значений коэффициентов теплопроводности λ и внутреннего диаметра футеровки dф, представленная на рис. 1. При увеличении толщины футерованной части тепловой изоляции ее критический диаметр уменьшается, причем с ростом внутреннего диаметра футерованной части зависимость критического диаметра от ее толщины ослабевает. При этом при значениях внутреннего диаметра dф≥500 мм зависимость от толщины изоляции практически отсутствует.

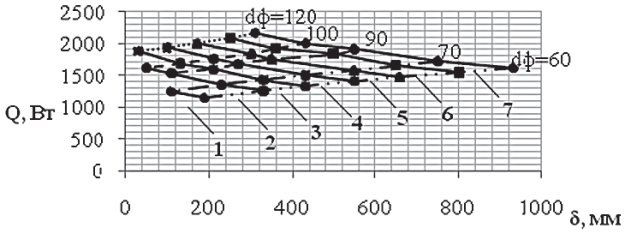


Рис. 1. Графики зависимостей максимальной мощности от толщины изоляции для различных значений коэффициента теплопроводности и температуре 1000 °С: **1 — λ** = 0.85 Вт/м·К; 2 — λ = 1 Вт/м·К; 3 — λ = 1.1 Вт/м·К; 4 — λ = 1.2 Вт/м·К; 5 — λ = 1.3 Вт/м·К; 6 — λ = 1.4 Вт/м·К; 7 — λ = 1.5 Вт/м·К

Секция 27.
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

Председатель секции — Слепцов Михаил Александрович
Секретарь секции — Глушенков Владимир Александрович

С.А. Старовойтов, асп.; рук. М.А. Слепцов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗОВ 3ЭС5К С ПООСНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ СИЛЫ ТЯГИ

Постоянный рост мировой экономики требует соответствующего роста объема грузовых перевозок по сети железных дорог России и увеличения их провозной способности, что является главной задачей ОАО «РЖД», которая предусмотрена «Стратегией развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года» и «Транспортной стратегией РФ на период до 2030 года. [1, 2].

Эффективность железнодорожных грузоперевозок в настоящее время достижима за счет обновления действующего парка тягового электроподвижного состава ОАО «РЖД» и за счет разработки новых локомотивов, имеющих повышенный технический уровень.

Среди всего разнообразия грузовых электровозов переменного тока локомотивного парка ОАО «РЖД» особого внимания заслуживает модернизированный электровоз серии 3ЭС5К №434, введенный в эксплуатацию в 2015 году (совместная разработка специалистов ООО «ПК «НЭВЗ», ОАО «ВЭлНИИ» и ОАО «РЖД») и эксплуатирующийся на Восточно-Сибирском полигоне. Главной особенностью данного локомотива являются технические решения, направленные на повышение тяговых свойств локомотива, а именно поосное регулирование силы тяги, независимое возбуждение ТЭД с классом изоляции Н, увеличение нагрузки на ось до 24,5 т., применение микропроцессорной системы управления локомотивом МСУД-015 с расширенными функциями.

Эффективность реализации технических решений поосного регулирования подтверждается как теоретическими тяговыми расчётами, так и результатами тягово-энергетических испытаний. Однако, выявленные в процессе эксплуатации неточности работы алгоритмов системы управления не позволяют реализовать весь потенциал и добиваться еще большего эффекта с точки зрения обеспечения повышенного грузооборота. Приведенные рекомендации и анализ тягово-энергетических и эксплуатационных испытаний призваны устранить выявленные недостатки системы и способствовать дальнейшему совершенствованию конструкции локомотива.

Литература

1. Стратегия инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2030 года (Белая книга ОАО «РЖД»).
2. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года.

Аунг Со Мо, асп.; рук-ли В.А. Глушенков, к.т.н., с.н.с.;
В.Г. Комаров к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СПОСОБОВ МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ МУЛЬТИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Энергоэффективность транспортной системы для Мьянмы имеет ключевое значение для реализации, поскольку в стране недостаточно традиционных энергоносителей и электростанций. По современным данным валовые ресурсы солнечной энергии Мьянмы составляют 1,15 миллионов ТВт. ч в год, а среднегодовой приход солнечной радиации (СР) составляет приблизетельно 5 кВт. ч/кв. м в сутки.

В качестве практической базы концепции были приняты технологии электрического транспорта с детерминированным движением транспортных средств, органично соединённые с современными технологиями солнечной энергетики и технологиями Маглева.

Основной задачей работы является создание на основе имитационного компьютерного моделирования образа ключевых технических решений инновационной транспортной системы, позволяющих максимально сократить расходы энергии на движение транспортных средств.

Определены задачи, поставленные перед системой «ЭЛТРО» и оценены преимущества транспортные средства с магнитной левитацией по сравнению с обычной системой колес на рельсах.

В настоящее время существует три типа левитационных технологий: 1) электромагнитная подвеска (EMS); 2) электродинамическая подвеска (EDS); и 3) гибридная электромагнитная подвеска (HMS).

В EMS существует два типа технологии левитации: 1) левитация и направляющая интегрированного типа, такие как корейский UTM и японский HSST и 2) левитация и направляющая разделенного типа, такие как немецкий Transrapid.

На текущем этапе проводятся работы по исследованию и снижению сопротивления движения и энергопотребления на создание магнитной левитации. Проводятся также испытания и исследования экспериментальных образцов ключевых технических решений. С этой целью в настоящее время разрабатывается имитационная компьютерная модель магнитной левитации транспортной системы.

Проведённые предварительные расчёты позволяют надеяться на положительные результаты создания такой транспортной системы. В качестве пилотного проекта рассматривается транспортная система для города Нейпьидо.

Чжо Зин Хтай асп.; рук-ли В.А. Глушенков, к.т.н., с.н.с.;
В.Г. Комаров к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОЗДАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МУЛЬТИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МНЬЯНМЫ НА ОСНОВЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

С целью создания надёжной и эффективной транспортной системы для Мьянмы был проведён анализ современного состояния транспортных технологий, удовлетворяющих специфическим требованиям и условиям эксплуатации Мьянмы.

Он показал, что в стране недостаточно традиционных энергоносителей и электростанций. По современным данным валовые ресурсы солнечной энергии Мьянмы составляют 1,15 миллионов ТВт. ч в год, а среднегодовой приход солнечной радиации (СР) составляет приблизительно 5 кВт. ч/кв. м в сутки. Это дало повод для поиска путей использования солнечной энергии в транспортной системе. Немаловажным является экологический аспект особенно в условиях жаркого климата Мьянмы.

В качестве практической базы концепции были приняты технологии электрического транспорта с детерминированным движением транспортных средств, органично соединённые с современными технологиями солнечной энергетики, информационными и магнитолевитационными технологиями.

Основной задачей работы является оценка.на основе имитационного компьютерного моделирования практической реализуемости системы в условиях Мьянмы ключевых технических решений инновационной транспортной системы.

Проанализированы измерения солнечной радиации в регионах Мьянмы. Суточный приход колеблётся от 3,5 до 6 кВт. ч/кв. м. Исходя из к. п. д. современных солнечных батарей предварительно рассчитана требуемая площадь солнечных панелей, обеспечивающих суточный пассажиропоток кольцевой линии протяжённостью 15 км в городе Нейпьидо. Рассчитана энергоёмкость накопителя энергии для обеспечения работы в тёмное время суток и при недостаточной инсоляции.

Разработана имитационная компьютерная модель транспортной системы. Проводятся работы по исследованию и снижению сопротивления движения и энергопотребления на создание магнитной левитации.

Протяженность проектируемой линии в г. Нейпьидо составляет ориентировочно 15 км.

Проведённые расчёты позволяют надеяться на положительные результаты создания такой транспортной системы.

И.Ю. Мартынюк асп; рук. В.А. Пречисский д.т.н. проф. (НИУ «МЭИ»)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОВЫШЕННОЙ КОМФОРТНОСТИ ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Основной из главных задач предусмотренной «Долгосрочной программой ОАО «РЖД» до 2025 года» [1] является безопасность движения поездов. Одним из важнейших факторов обеспечения безопасности движения является создание комфортных условий локомотивной бригаде для выполнения возложенных на неё функций. Машинист локомотива и его помощник — это сложноорганизованная открытая биологическая система, являющаяся составной частью «системы человек-машина».

Среда обитания работников локомотивных бригад (оборудование кабин управления подвижного состава) должна соответствовать требованиям «Санитарные правила по проектированию, изготовлению и реконструкции локомотивов и специального подвижного состава железнодорожного транспорта. СП. 2.5.1336–03» [2]. Внешние воздействия вызывают повышенную утомляемость локомотивной бригады, что существенно влияет на безопасность движения. Основные трудности проектирования кабин локомотивов связаны с поиском путей и средств оптимального взаимодействия ее с человеком. Отсюда вытекает необходимость всестороннего учета потребностей человека.

В рамках данной работы исследуется одна из составляющих безопасности — материальная, т.е. среда обитания локомотивной бригады. Представлены технические решения по надёжной защите локомотивной бригады от внешней среды, шума и вибраций. Алгоритмы управления автоматической системы обеспечения микроклимата. Способы реализации рабочего места машиниста и помощника: компоновка органов управления и средств отображения информации на пульте управления, конструкция кресел локомотивной бригады. Усовершенствование устройств безопасности с внедрением систем видеонаблюдения в режиме реального времени обеспечивает видимость «слепых зон» машиниста.

Литература

1. Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года. (http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=7017). Утвержденная распоряжением от 19 марта 2019 года №466-р председателем Правительства Российской Федерации Д.А. Медведевым.
2. Санитарные правила по проектированию, изготовлению и реконструкции локомотивов и специального подвижного состава железнодорожного транспорта СП. 2.5.1336–03. (http://docs.cntd.ru/document/901865549).

А.Г. Хахин, студ.; рук. М. В. Румянцев (НИУ «МЭИ»)

ПАРАМЕТРЫ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ АВТОМОБИЛЯ С ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ

Нефть относится к невозобновляемым ресурсам и с каждым годом ее количество уменьшается. Транспортная отрасль потребляет основную долю нефтяных ресурсов из-за автомобилей с двигателем внутреннего сгорания, которые имеют большой расход топлива и огромные выбросы вредных веществ в атмосферу.

Для решения этих проблем предлагается использовать автомобиль с последовательной гибридной схемой [1], где в качестве теплового двигателя выбрана газовая турбина. Именно такой автомобиль является серьёзным заделом для разработки электромобиля, в котором последовательная гибридная схема (рис. 1) позволит реализовать полную мощность на электрической тяге в городской среде и отказаться от сложной трансмиссии. Газотурбинный двигатель имеет высокую удельную мощность [2]. В сумме это снизит топливные затраты и увеличит экологичность автомобиля благодаря использованию теплового двигателя в оптимальном режиме при мощности, близкой к средней потребляемой автомобилем мощности. Основа расчета — моделирование расхода энергии по наиболее соответствующему современным условиям циклу движения автомобиля.

Целью работы является оптимизация параметров накопителя энергии на основе моделирования режимов работы тягового электропривода.

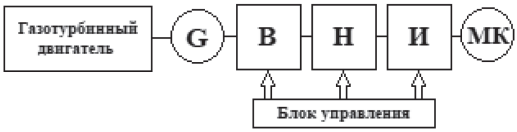


Рис. 1. последовательная гибридная схема,
где G — генератор, МК — мотор-колесо,
В — выпрямитель, Н — накопитель, И — инвертор

Литература

1. **Капустин А.А., Раков В.А.** «Гибридные автомобили» Вологда: ВоГУ, 2016.
2. **Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л.** «Газотурбинные двигатели» Пермь: ОАО «Авиадвигатель», 2006.

П.С. Григорьев, аспирант; рук. Б.Ю. Васильев, к.т.н., доцент Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

Исследование посвящено поиску способа повышения эффективности автоматизированного тягового электропривода. В современных условиях основными требованиями к транспортным средствам с электромеханическими трансмиссиями предъявляются требования по снижению потребления топлива, повышению отказоустойчивости [1]. В данной работе анализируются возможности активного выпрямителя напряжения (АВН) в части энергосбережения путём реализации экономичного режима работы генератора и обеспечения безотказной работы привода при обрыве фазы генератора. Предлагается использовать АВН в качестве регулятора потока мощности и устройства возбуждения генератора.

Математическое описание АВН строится на основе уравнений [2,3]:

$$U_{sd} - U_{d\,conv} = RI_{sd} + L\frac{dI_{sd}}{dt} - \omega LI_{sq}, \quad (1)$$

$$U_{sq} - U_{q\,conv} = RI_{sq} + L\frac{dI_{sq}}{dt} + \omega LI_{sd}, \quad (2)$$

Моделирование проведено в среде Matlab Simulink. Модель позволяет анализировать следующие режимы работы привода:

— движение транспортного средства (т/с) с номинальными параметрами;

— экономичный режим работы генератора при движении т/с под уклон.

Алгоритм управления обеспечивает следующие режимы работы:

— поддержание на заданном уровне напряжения звена постоянного тока при снижении напряжения на выводах генератора в экономичном режиме;

— безаварийный останов привода при обрыве одной фазы генератора.

Результатом использования предложенной структуры автоматизированного тягового электропривода является повышение уровня унификации и надёжности конструкции. Результатом применения предложенного алгоритма управления является снижение потребления топлива за счёт обеспечения экономичного режима работы генератора, а также повышение отказоустойчивости трансмиссии.

Литература

1. **Серов Н.А.** Электротрансмиссии самосвалов БелАЗ грузоподъемностью 136 т // Горное оборудование и электромеханика. 2005. №5.
2. **Пронин М.В**. Электроприводы и системы с электрическими машинами и полупроводниковыми преобразователями. СПб: Силовые машины Электросила, 2004
3. **Шклярский Я.Э.** Управление активным выпрямителем напряжения в составе частотно-регулируемого привода при провалах напряжения // Известия ТулГУ. 2018. №12.

А.А. Бриедис, аспирант; рук. В.Д. Тулупов, д.т.н., проф. НИУ «МЭИ»

ПОДШИПНИКОВЫЕ ТОКИ ПРИВОДНЫХ МАШИН

Проблема возникновения подшипниковых токов (рис. 1) является одной из основных проблем при использовании электроприводов с полупроводниковыми преобразователями. Подшипниковые токи оказывают негативное влияние на эксплуатационно-технические параметры регулируемого электропривода, в частности, энергетическую эффективность, надежность.

В современных условиях, когда полупроводниковые преобразователи стали неотъемлемой частью электроприводов, устранение подшипниковых токов необходимо решать конструкторскими, структурными и алгоритмическими способами на различных этапах проектирования и эксплуатации электротехнических комплексов.

Автономные инверторы являются импульсными источниками электрической энергии, которые работают в дискретном режиме. Несогласованность режимов автономных инверторов, работающих в импульсном (дискретном) режиме, напряжение на выходе которых имеет импульсную форму, и тяговой машины (ТМ), напряжение обмоток статора которой должно быть синусоидальным (непрерывным), приводит к появлению подшипниковых токов.

Согласование дискретных энергетических режимов работы автономных инверторов и непрерывных энергетических режимов работы приводных ТМ, а также устранение подшипниковых токов, является актуальной научно-технической задачей.

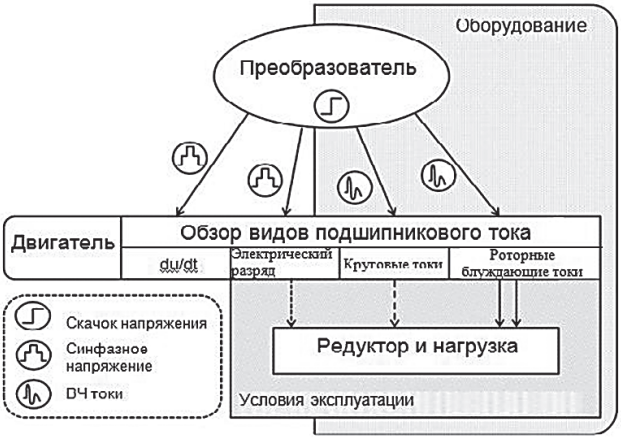


Рис. 1. Классификация токов протекающих через подшипник

А.Э. Лаврова, студ.; рук. К.А. Былинина, асс. НИУ «МЭИ»

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ТРАМВАЯ

Тяговая подстанция (далее ТП) является одним из важнейших элементов системы тягового электроснабжения (СТЭ); представляет собой электроустановку, предназначенную для преобразования и подачи электроэнергии в сеть электротранспорта [1].

ТП для трамвайного и троллейбусного транспорта служат для преобразования трехфазного переменного тока в постоянный ток. Напряжение постоянного тока для ГЭТ составляет: на токоприемнике трамвая и троллейбуса 550В, на шинах тяговых подстанций 600В. Тяговые подстанции делятся по количеству агрегатов на одноагрегатные и многоагрегатные [2].

Целью проектирования является выбор электрооборудования подстанции и оценка надёжности электроснабжения при разных схемах питания тяговой сети.

Питание ТП со стороны 10кВ осуществляется по одному кабельному вводу. На основе заданных данных и рассчитанных значений выбрано следующее оборудование: распределительное устройство РУ-10кВ, состоящее из камер КСО-298, укомплектованных вакуумным выключателем и сухим трансформатором собственных нужд ТСКС-25 (10)/6 У3; сухой трансформатор типа ТСЗП-1000/10 ГТУЗ; преобразовательная секция выпрямительного агрегата серии В-ТПЕД-1,25к-600М УХЛ4; распределительные устройства постоянного тока РУ+600В и РУ-600В с необходимыми коммутационными аппаратами; шкаф собственных нужд подстанции.

Актуальность расчета подземной ТП заключается в том, что на сегодняшний день в густонаселенных районах современных городов особо ограничено место для застройки. Подземную ТП можно смонтировать в любом удобном месте, где она будет безопасна для людей и экологии окружающей среды.

ТП следует проектировать с учетом следующих требований: здание должно соответствовать строительным нормам и обеспечивать требуемые условия эксплуатации установленного оборудования.

Литература

1. Основы электрического транспорта: учебник для студ. высш. учеб. заведений [М.А. Слепцов; Г.П. Долаберидзе; А.В. Прокопович; Т.И. Савина; В.Д. Тулупов]; под общ. ред. М.А. Слепцова. — Издательский центр «Академия», 2006–464 с.
2. Тяговые подстанции трамвая и троллейбуса. Загайнов Н. Л, Финкельштейн Б.С. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Транспорт», 1978, 336 с.

Г. Бурэн-Итгэл, асп.; рук. В.А. Пречисский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ЛОКОМОТИВОВ ДЛЯ ГРУЗОНАПРЯЖЁННЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ МОНГОЛИИ НА ОСНОВАНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В работе представлена разработана математическая модель системы управления скоростью движения, включающая в себя модели грузового поезда. Для учёта особенностей протекания динамических процессов в грузовом поезде использованы заимствованные из литературы эмпирические формулы, по которым проводились вычисления тяговых сил в зависимости от скорости движения. Для моделирования динамических процессов тяговой передачи в приложении SIMULINK/MATLAB разработана комплексная модель системы.

При выбранном способе моделирования изменяются исходные данные для каждого рассматриваемого варианта, сила тяги локомотивов, масса состава и локомотивов. Для моделирования всего маршрута Толгойт — Чойр его следует разделить на четыре участка, каждый из которых имеет свой уклон и свою максимальную скорость.

Результаты моделирования (для различных вариантов комбинации тяговых локомотивов) и полученные характеристики представлены: механические характеристики транспортного средства F (V), кривые скорости, кривые напряжения тягового электродвигателя (ТЭД), кривые тока ТЭД, кривые электромагнитного момента двигателя, кривые времени движения, расхода топлива движения.

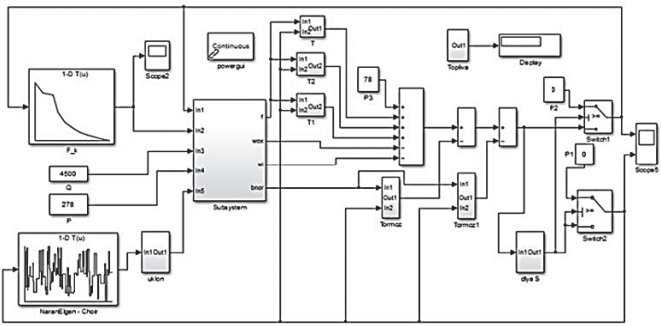


Рис. 1. Общая модель тяговых расчетов в среде MatLab на участке Наран-Элгэн — Чойр

Результаты моделирования показывают удовлетворительные совпадения расчётных и экспериментальных данных (расхождение не превышает 5.97%). Это подтверждает достоверность расчётов и возможность использования предложенных решений.

Направление

ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Зав. каф. ИЭиОТ, д.т.н., доцент О.Е. Кондратьева

Секция 28.
ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Председатель секции — Кондратьева Ольга Евгеньевна
Секретарь секции — Локтионов Олег Александрович

А.А. Климов, студ.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ ШУМА ОТ КРЫШНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ БЛОКА ПГУ-420Т

В настоящее время всё большее внимание уделяется снижению неблагоприятных воздействий от работы промышленных предприятий на человека. Одним из таких воздействий является шум от объектов энергетики и промышленных предприятий в целом [1]. Снижение уровня шума особенно актуальна на энергетических объектах, расположенных в близи жилой застройки. Особенностью блока ПГУ-420Т является то, что на нем располагается оборудование большей мощности, в частности, крышные вентиляторы, которые являются источниками интенсивного шума для окружающего района.

Была составлена математическая модель рассматриваемого блока ПГУ-420Т с крышными вентиляторами, а именно: отделения ГТУ КРОВ9–8 в количестве 2 и КРОВ6–9 в количестве 3 шт., отделения КУ КРОВ9–12 в количестве 8 шт., отделения насосов КУ КРОВ9–9 в количестве 3 шт., отделения ПТУ КРОВ9–9 в количестве 6 шт. Проведены акустические расчеты для выбранного состава оборудования.

Для каждого крышного вентилятора были рассчитаны превышения санитарных норм. Рассмотрены возможные мероприятия по уменьшению шума от каждого вида источника [1–2]. Целью мероприятий по снижению факторов физического воздействия от блока ПГУ-420Т является доведение величин физического воздействия разных источников до санитарно-гигиенических норм на рабочих местах и на территории жилой застройки. Особенностью разработки мер по снижению шума от блока ПГУ-420Т, который находится в близи с жилыми домами, являются существенные отличия санитарных норм для различных территорий. Так, например, уровень звука на территории ТЭЦ допускается равным 80дБА, а на территории жилой застройки — не более 45 дБА. От величины требуемого снижения шума зависит выбор способа или устройства для его уменьшения [1]. Проведено сравнение и сделан выбор мероприятий по снижению шума от крышных вентиляторов.

Литература

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
2. **Тупов В.Б.** Проблемы и основные направления снижения шума в энергетике// Защита от повышенного шума и вибрации: сборник докладов VII Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием, 19–21 марта 2019 г. СПб/ Под ред. Н.И. Иванова, С. 46–56

С.А. Сивцева, В.Д. Бурченко, студенты;
рук. П.В. Росляков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПЕРЕХОДА РОССИЙСКИХ ТЭС НА ПРИНЦИПЫ НДТ

Внедрение НДТ в области энергетики способствует обеспечению оптимальных комбинаций энергетических, экологических и экономических показателей, а также комплексного снижения негативного воздействия на окружающую среду [1].

В соответствии с Федеральным проектом «Внедрение НДТ» в 2024 г. предполагается актуализация ИТС 38–2017 «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии», по которому возможны ужесточения технологических показателей и пересмотр перечня НДТ.

На этот случай в данной работе был проведен выбор наилучших доступных и перспективных технологий для Хабаровской ТЭЦ-3 и ТЭС г. Красноярска, которые расположены в регионах с наихудшей экологической ситуацией и вошли в Приказ МПР №154 [2], для снижения выбросов маркерных веществ до технологических показателей (ТП), указанных в ИТС 38–2017, ГОСТ Р 50831–95 и Директиве 2010/75/ЕС. В работе также проведена сравнительная оценка суммарных капитальных и эксплуатационных затрат на их внедрение и сроков их окупаемости.

Принципиально не существует серьезных технических и финансовых проблем для внедрения НДТ с целью удовлетворения ТП ИТС 38–2017. Ужесточение ТП, например до уровня нормативов ГОСТ 50831–95, также не является серьезной технической проблемой, но потребует значительно больших финансовых затрат на внедрение соответствующих НДТ.

Анализ показал, что сроки окупаемости затрат на внедрение НДТ по действующим ставкам на выбросы составляют более 50 лет и не являются экономическим стимулом для перехода ТЭС на принципы НДТ.

Литература

1. Федеральный закон от 21.07.2014 №219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Электронный ресурс]/ URL: http://base.garant.ru/70700466/ (дата обращения 16.09.2019).
2. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации №154 от 18.04.2018 «Об утверждении перечня объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, относящихся к I категории, вклад которых в суммарные выбросы, сбросы загрязняющих веществ в Российской Федерации составляет не менее чем 60 процентов» [Электронный ресурс]/ URL: http://ivo.garant.ru/#/document/71978898/ (дата обращения 16.09.2019).

В.Д. Бурченко, С.А. Сивцева, студенты;
рук. П.В. Росляков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ВЫБРОСОВ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

В современной теплоэнергетике одной из приоритетных задач является контроль и снижение выбросов в атмосферу с дымовыми газами ТЭС. Основная цель внедрения таких систем на ТЭС — последовательное снижение негативного воздействия тепловых электрических станций на окружающую среду [1].

Принципиально возможны два способа организации непрерывного контроля на ТЭС: контроль выбросов вредных веществ в дымовых газах непосредственно в газоходах котельных установок, либо на дымовой трубе ТЭС [2]. В первом случае главным преимуществом является возможность регулирования процессов горения топлива и ведения оптимальных режимов на котлах. Во втором случае существенным преимуществом непрерывного контроля вредных выбросов на дымовой трубе является то, что одна измерительная система позволяет определить суммарные массовые выбросы всех котлов, подключенных к данной дымовой трубе. Оба способа, а также требования к ним, определены в ряде Постановлений Правительства РФ и приказов Министерства природных ресурсов и экологии.

Для систем контроля в данной работе рассматривается необходимое измерительное оборудование. Для контроля вредных веществ на котельных агрегатах используются пробоотборные газоанализаторы, которые будут работать при температурах от 10 до 40°С. Для измерения выбросов вредных веществ на дымовой трубе необходимы безпробоотборные газоанализаторы способные работать на высоте более 100 метров при температурах –40 до +40°С, а также при повышенной влажности и ветровой нагрузке. Применение беспроотборных измерительных систем позволяет получить наилучшие метрологические характеристики и исключает возникновение дополнительных погрешностей, связанных с извлечением, транспортировкой, и изменениями состава пробы газа.

В результате проведённого анализа были выработаны рекомендации по выбору российского газоаналитического оборудования для тепловых электростанций.

Литература

1. Федеральный закон от 21.07.2014 №219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Электронный ресурс] / URL: http://base.garant.ru/70700466/
2. ПНСТ 187–2017 «Наилучшие доступные технологии. Автоматические системы непрерывного контроля и учета выбросов вредных (загрязняющих) веществ тепловых электростанций в атмосферный воздух» [Электронный ресурс] / URL: http://docs.cntd.ru/document/1200145266/

А.В. Нечаев, студ.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ ТЭС ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ МОЩНОСТИ УСТАНОВКАМИ ПГУ

В последнее время увеличение мощности ТЭС происходит путем установки более экономичного оборудования. Таким оборудованием являются парогазовые установки. Преимуществами ПГУ являются их экономичность, умеренные габаритные размеры, удобство транспортировки и монтажа. Но даже при штатной эксплуатации КЭС шум от ее оборудования может превышать санитарные нормы. При этом превышение санитарных норм может иметь место на расстоянии нескольких километров от энергетического объекта [1]. При этом КЭС должна иметь санитарно-защитную зону, составляющую 500 м [1].

Для исследования шумового воздействия на окружающий район были выбраны две ПГУ, состоящие из газовой турбины ГТЭ-160, котла-утилизатора ПК-74, паровой турбины типа Т-56/73–7,8/0,04 и соответствующего вспомогательного оборудования [2].

Был выполнен акустический расчет для двух вариантов: до и после увеличения мощности станции. Результаты акустического расчета для точки расположенной на расстоянии 500 м от станции показывают превышение санитарных норм. Рассмотрены различные варианты по уменьшению уровня шума от указанного выше оборудования. Показано, что мероприятия по шумоглушению необходимы до и после расширения КЭС. Для станции до модернизации необходима установка глушителей для тягодутьевых машин.

После расширения станции дополнительно необходима установка глушителей на воздухозаборах ГТУ и перед КУ.

Рассмотрены различные глушители для снижения шума тягодутьевых машин, воздухозаборов ГТУ и среза дымовой трубы КУ. Были проведены акустические, аэродинамические и весовые расчеты глушителей шума. На основании выполненных расчетов даны рекомендации по использованию пластинчатых глушителей для снижения шума тягодутьевых машин и воздухозаборов ГТУ.

Литература

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012
2. **Тупов В.Б.** Проблемы и основные направления снижения шума в энергетике// Защита от повышенного шума и вибрации: сборник докладов VII Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием, 19–21 марта 2019 г. СПб/ Под ред. Н.И. Иванова, С. 46–56

А.В. Сидоренко, студ.; рук-ли А.А. Завьялова, к.т.н., доцент;
А.С. Козодаев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВОДООЧИСТКИ ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

В различных отраслях промышленности страны таких как, в машиностроение, приборостроение, авиастроение, широко применяется технология нанесения гальванических покрытий, которая является едва ли не самым опасным источником тяжелых металлов, негативно загрязняющих окружающую среду [1].

Биологическая очистка любого типа обладает существенной эффективностью в отношении тяжелых металлов, а также специфических органических загрязнений [2].

Активный ил биологических очистных сооружений включает три составляющие — биологическую, органическую (вне биомассы) и неорганическую, каждая из которых способна связывать ионы тяжелых металлов из водных сред. Микроорганизмы поглощают металлы в основном поверхностью клеток за счет физического и химического взаимодействия с поверхностью полисахаридного биополимерного геля, окружающего клетки бактерий активного ила [2]. Таким образом, задержание тяжелых металлов активным илом происходит в основном в результате процесса сорбции. В условиях большого неисчерпанного резерва биолого-химической сорбционной системы активного ила остаточную несорбированную концентрацию веществ определяют ее физико-химические параметры.

Настоящая работа посвящена разработке технологии, позволяющая очистить воду от ионов тяжелых металлов перед основным этапом биологической очистки. Избыточный и отработанный активный ил, полученный после этапа биологической очистки, является источником биогенных элементов и питательных веществ, и может служить эффективным удобрением при условии отсутствия токсических веществ, в том числе ионов тяжелых металлов. Таким образом данная работа решает проблемы экологически выгодной утилизации активного ила.

Литература

1. **Большаков В.А.**, Гальпер Н.Я., Клименко Г.А., Лычкина Т.И., Башта Е.В. — М.: изд-во ВНИИИиТЭИсельхоз, 1978. — 54 с. — (серия «Охрана природы»).
2. **С.С. Виноградов**. Экологически безопасное гальваническое производство. / Под редакцией проф. В.Н. Кудрявцева. — Изд. 2-е, перераб. и доп.; «Глобус». М., 2002. — 352 с.
3. **ИТС 10** (ИТС НДТ КТЭУ) «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов», Бюро НДТ [Электронный ресурс]: http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail. php?UrlId=504&etkstructure_id=1872.

В.В. Баранов, студ.; рук. П.В. Росляков, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ)

ВНЕДРЕНИЕ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СЕРООЧИСТКИ И ЗОЛОУЛАВЛИВАНИЯ НА РОССИЙСКИХ ТЭС

В рамках реализации Национального проекта «Экология» первые 300 российских предприятий I категории с наибольшим негативным воздействием на окружающую среду (НВОС) [1] до конца 2022 г. должны получить комплексное экологическое разрешение (КЭР). Для этого предприятиям необходимо внедрить наилучшие доступные технологии (НДТ), которые обеспечат достижение технологических показателей выбросов маркерных загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферный воздух, утвержденных приказами Минприроды РФ. Перечень НДТ и технологические показатели выбросов ЗВ для ТЭС приведены в информационно-техническом справочнике ИТС 38–2017 [2].

Целью данной работы являлась оценка технических и экономических возможностей внедрения НДТ сероочистки и золоулавливания на российских угольных ТЭС I категории [1]. Для данных ТЭС с учетом их конструктивных и технических особенностей были выбраны технологии сероочистки дымовых газов и золоулавливания из перечней НДТ ИТС 38–2017, а также перспективных технологий, серийно освоенных за рубежом.

В качестве НДТ сероочистки дымовых газов рассматривались перевод ТЭС на сжигание малосернистых топлив, установки упрощенной сероочистки по технологи «E-SOx», мокро-сухая сероочистка газов с циркулирующей инертной массой «NID». Для снижения выбросов летучей золы рассматривалось внедрение современных электрофильтров, рукавных фильтров и гибридных золоуловителей с эффективностью золоочистки не менее 99%. В работе проведена оценка капитальных и эксплуатационных затрат на внедрение предложенных НДТ для достижения технологических показателей ИТС 38–2017.

Литература

1. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 18 апреля 2018 г. №154 «Об утверждении перечня объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, относящихся к I категории, вклад которых в суммарные выбросы, сбросы загрязняющих веществ в Российской Федерации составляет не менее чем 60 процентов».
2. ИТС 38 (ИТС НДТ КТЭУ) «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии», Бюро НДТ [Электронный ресурс]: http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail. php?UrlId=1132&etkstructure_id=1872.

А.И. Балашова, студ.; рук. А.В. Мордвинова, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

КРИТЕРИИ ДОПУСТИМОГО ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЧЕЛОВЕКА

При возникновении пожаров негативное тепловое воздействие на людей оказывают опасные факторы пожара (ОФП) — тепловой поток и повышенная температура окружающей среды. Для сохранения жизни и здоровья людей величина указанных ОФП не должна превышать допустимое значение.

Под допустимым воздействием, в общем случае, можно понимать такой максимальный уровень воздействия, при котором не происходит ухудшение состояния здоровья человека и он сохраняет способность выполнять свои функции. Требования к физическим факторам на рабочих местах установлены СанПиН 2.2.4.3359–16 [1], в котором для рабочего дня установлены предельно допустимые значения температуры на рабочем месте — от +13°С до +28°С и теплового потока 140 Вт/м^2. Требования документа [2] устанавливают критические значения при пожаре для температуры на путях эвакуации — 70 °С и теплового потока– 1400 Вт/м^2. Вероятно, что документ [2] не предполагает 8-часового воздействия с мощностью 1400 Вт/м^2. В качестве вероятностного критерия поражения в [2] используется понятие пробит-функции, по которой определяется условная вероятность поражения человека. Для поражения человека тепловым излучением величина пробит-функции описывается формулой:

$$Pr = -12.8 + 2.56 \cdot \ln (t \cdot q^{4/3}) \qquad (1)$$

где t — эффективное время экспозиции, с; q — интенсивность теплового излучения, кВт/м^2. Таким образом, документ [2] учитывает продолжительность воздействия. Представляет интерес провести анализ рассматриваемых критериев, установленных в зарубежных нормативных документах, чему и планируется посвятить дальнейшие исследования.

Литература

1. СанПин 2.2.4.3359–16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».
2. «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах», утверждена приказом МЧС от 10.07.2009 г №404.

М.С. Москвина, Л.Д. Михайлова, студенты
рук. М.С. Хвостова, доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ В НИУ «МЭИ»

В НИУ «МЭИ» ведутся работы с источниками ионизирующего излучения (ИИИ). Кафедра АЭС располагает уран-водным подкритическим стендом и лабораторией нейтронной физики. Кафедры ОФиЯС, ЭиН, ТМ, ФТЭМК и НОЦ «Нано», НЦ «Износостойкость» проводят исследования на установках, генерирующих низкоэнергетическое рентгеновское излучение (НРИ) и неиспользуемое рентгеновское излучение (НИРИ). К таким установкам относятся аппараты электронно-лучевой сварки, аппараты рентгеноструктурного анализа, растровые электронные микроскопы.

Радиационная безопасность персонала обеспечивается организацией радиационного контроля [1–3]. В данной работе изложены основы программы производственного радиационного контроля в НИУ «МЭИ» (ПРК), разработанной авторами. Целью ПРК является получения информации об индивидуальных и коллективных дозах облучения персонала, а также показателях, характеризующих радиационную обстановку в помещениях, где ведутся работы с ИИИ.

Программа радиационного контроля в НИУ «МЭИ» включает в себя:

— общие положения, общие сведения о НИУ «МЭИ»;

— перечень санитарных правил, методов и методик контроля;

— перечень должностных лиц, осуществляющих контроль;

— перечень факторов, представляющих потенциальную опасность для человека и среды его обитания;

— объем и периодичность радиационного контроля;

— перечень мероприятий для обоснования безопасности для человека и окружающей среды, перечень форм учета и отчетности, установленной действующим законодательством в области РБ;

— мероприятия для осуществления контроля за соблюдением СП и ГН;

— приборное обеспечение.

Литература

1. СП 2.6.1.2612–10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010).
2. СанПиН 2.6.1.3289–15. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при обращении с источниками, генерирующими рентгеновское излучение при ускоряющем напряжении до 150 кВ.
3. СанПиН 2.6.1.2748–10. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при работе с источниками неиспользуемого рентгеновского излучения.

А.И. Комин, студ.; А.А. Завьялова, доцент,
А.С. Козодаев, доцент. (НИУ «МЭИ»)

ОЧИСТКА ГАЛЬВАНОСТОКОВ ПРИ ПОМОЩИ КОМБИНИРОВАННОГО ФЛОТАЦИОННОГО АППАРАТА

На данный момент человечество стоит перед серьезной проблемой — загрязнение водных ресурсов. С каждым годом нормативы по сбросу становятся жестче, а штрафы за несоблюдение нормативов все больше. Поэтому необходимо на предприятии устанавливать современные очистные сооружения, которые будут очищать сточные воды до нормативных показателей [1].

Основными загрязнителями при гальванической обработки, которые содержатся в сточных водах предприятия, являются тяжелые металлы. Они относятся к приоритетным загрязняющим веществам, за которыми необходим постоянный контроль. Проанализировав существующие методы очистки воды от тяжелых металлов, можно сделать вывод, что наиболее эффективной является комплексная технология, сочетающая в себе несколько физико-химических методов [2]. Комплексный подход позволяет получить наибольшую степень очистки.

Совершенствование флотационной техники развивается в направлении, предполагающем использование комплексного подхода в одном устройстве. В одном корпусе комбинированного флотационного аппарата могут быть одновременно установлены блок аэрации, для осуществления флотационного процесса и блок отстаивания. Такой аппарат получил название — флотоотстойник.

Применение флотоотстойника позволяет очищать сточные воды от тяжелых металлов до нормированных значения и минимизировать размеры устройств очистки. Применение комбинированного аппарата помогает сэкономить место на территории предприятия, так как габаритные размеры комбинированного аппарата меньше по сравнению с установкой по отдельности блока аэрации и отстойника.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 29.07.2013 N 644 (ред. от 26.07.2018) «Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации»
2. **Алексеев Е.В.** Физико-химическая очистка сточных вод. М.: Ассоциация строительных вузов, 2007. 248 с.

О.А. Локтионов, асп.; А.И. Макеев, студ.; В.А. Старцев, студ. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОТКЛЮЧЕНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

В настоящее время более половины технологических нарушений в работе линий электропередачи приходится на причины, связанные с природным воздействием, поэтому необходимость более детальной их оценки является важнейшей составляющей для надежного энергоснабжения потребителей [1].

В работе предложен алгоритм формирования базы данных, позволяющий оценить количество причин отключений линий электропередачи по каждому климатическому фактору. Ретроспективный анализ проводился, опираясь на сведения из оперативных журналов диспетчерского персонала АО «Тюменьэнерго» за период с 2016 по 2018 год.

На основании системного анализа с использованием методов статистической обработки аварий, вызванных воздействием климатических нагрузок, выделен фактор, имеющий доминирующую долю отключений по причине, связанной с атмосферными перенапряжениями, во всех трех регионах, подведомственных АО «Тюменьэнерго»: Ямало-Ненецком — 62%, Ханты-Мансийском — 76%, Тюменская область (110 кВ) — 43%, Тюменская область (10–35 кВ) — 60%. Также было выявлено заметное увеличение процента гололедно-изморозевых отложений и ветровых нагрузок на северных территориях.

Сравнительный анализ ВЛ разного уровня напряжения Тюменской области (10–35 кВ и 110–220 кВ), показал, что ВЛ среднего уровня напряжения больше подвержены воздействию ветра и атмосферным перенапряжениям, чем линии высокого напряжения, и связанно это в первую очередь с конструктивными особенностями и использованием недостаточным запасов прочности для линий 10–35 кВ.

Результаты проведенного анализа позволяют сформировать перечень рекомендаций по повышению надежности работы энергосистемы как на стадии проектирования, так и при эксплуатации электрических сетей, а также служат основой для установления корреляционных связей между показателями устойчивости и метеорологическими факторами.

Литература

1. **О.Е. Кондратьева, О.А. Локтионов, Е.Г. Гашо, Е.М. Мясникова** Вопросы влияния климатических факторов на воздушные линии электропередач Электроэнергия: передачи и распределение, №6 (51), 2018. — с. 128–131

В.А. Старцев, студ.; А.И. Макеев, студ.; О.А. Локтионов, асп.;
А.М. Боровкова, доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ВЫБРОСОВ ПРОЕКТИРУЕМОГО САНИТАРНОГО ПОЛИГОНА

Для обоснования границ санитарно-защитной зоны (СЗЗ), применяют риск-ориентированный подход, включающий в себя четыре этапа: идентификация опасности, оценка зависимости «доза-ответ», оценка воздействия химических веществ на организм человека и характеристика риска.

В данной работе производится оценка риска для здоровья населения от выбросов проектируемого полигона, мощностью 600 тыс. тонн, в область его СЗЗ попадает линия жилой застройки. На этапе идентификации были отобраны вещества, которые образуются телом полигона и оказывают наибольшее влияние на организм человека. В данный перечень вошли следующие вещества: толуол, формальдегид, метан и аммиак. Далее для веществ из составленного перечня производилось ранжирование по следующим критериям: вклад в выброс, классу опасности, значению референтной концентрации, значению предельно допустимой концентрации. Для указанных ранее веществ в соответствии с методологией руководства [1] производилась оценка хронического канцерогенного (ICR) и неканцерогенного (HQ) риска. На основании полученных данных был сформирован массив наиболее уязвимых критических систем и органов, который представлен в таблице 1.

Табл. 1. Критические органы (системы), поражаемые ЗВ

Критические органы и системы	Точки на границе ориентировочной СЗЗ (R=500 м)		Точки на границе расчетной изолинии СЗЗ (R=100 м)	
	min	max	min	max
Органы кроветворения	5,5*10–2	1,4*10–1	1,8*10–1	5,1*10–1
Органы дыхания	1,1*10–1	2,8*10–1	2,2*10–1	6,1*10–1

В соответствии с методикой расчета, которая представлена в руководстве [1] полученные уровни риска находятся в приемлемых диапазонах и не превышают допустимого уровня, равного 1, что говорит о возможности размещения линии жилой застройки в области СЗЗ санитарного полигона.

Литература

1. Р 2.1.10.1920–04 Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду

А.Д. Поротикова, студ.; рук. В.Т. Медведев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПУТЁМ УМЕНЬШЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ВИБРОВОЗМУЩАЮЩИХ СИЛ МЕХАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Электромашиностроение является энергетической базой электрификации страны. Технический прогресс в любой отрасли народного хозяйства в значительной степени зависит от качества применяемых электрических машин и надежности их работы в эксплуатации.

При работе электрических машин происходят процессы, вызывающие соударения, трение и вибрацию деталей и узлов. Среди сил, вызывающих вибрацию необходимо выделить силы механического происхождения, среди которых особое место занимают силы, обусловленные работой подшипников качения.

При выборе материала и конструкции подшипников, важную роль играют ультразвуковые составляющие, которые вызывают ускоренное старение смазывающего материала, приводящее к появлению отложений на поверхностях беговых дорожек и тел качения. Это в свою очередь приводит к изменению виброакустических характеристик электрической машины и снижению её надежности.

Применение керамических подшипников качения в электрических машинах может снизить или полностью устранить влияние составляющих вибрации и шума, обусловленных, дефектами тел качения и беговых дорожек, а также различными процессами, обусловленными изменением режима трения деталей при изменении температуры подшипниковых узлов [1].

За счет уменьшения количества составляющих вибровозмущающих сил, можно качественно улучшить виброакустические характеристики, что позволит повысить надежность электрических машин.

Литература

1. **Медведев В.Т.**, **Макальский Л.М.** О снижении влияния вибрации и шума механического происхождения в электрических машинах (2018) Электротехника, №4, стр. 76–79.

П.А. Щедрин, студент; Д.А. Вегель, асп.;
рук. С.И. Ильина, к.т.н., доц. (РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва)

ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МЕТОДОМ ОБРАТНОГО ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА

В современном мире основные способы получения электроэнергии несут непоправимый экологический вред. В связи с этим встаёт вопрос о поисках новых альтернативных решений. Одним из них может являться обратный электродиализ [1]. На данный момент этот процесс находится на стадии изучения [2].

Принцип обратного электродиализа основан на том, что через аппарат, представляющий собой поочерёдно чередующиеся катионо- и анионообменные мембраны, размещенные между двумя электродами, прокачиваются растворы электролита, имеющие разные концентрации. В результате направленного переноса ионов, который обеспечивается чередованием мембран, на электродах возникает разность потенциалов.

В ходе проведённых нами экспериментов были получены данные по возникновению ЭДС за счёт диффузионного переноса.

Однако существует второй и более важный вопрос, который заключается в том, какое количество электрической энергии мы можем получить таким способом, и не будут ли энергозатраты на перекачку растворов превышать полученную энергию. Нами были проведены расчёты и определены оптимальные соотношения концентраций растворов в камере обессоливания и концентрирования.

На основании проделанных экспериментальных и аналитических исследований было сделано заключение, что подобный метод получения энергии выгодно использовать в местах, где реки впадают в моря (особенно с высоким содержанием солей, например, Средиземное море), а также для частичной компенсации энергетических затрат при наличии у предприятий стоков растворов электролитов с разной концентрацией.

Литература

1. **Княжев В.В.** Экспериментальные исследования энергетической установки на основе обратного электродиализа // конф. Проблемы транспорта Дальнего Востока, — 2009. — С. 113–115.
2. **М. Кадер Джубари, Н.В. Алексеева,** Влияние рабочих параметров и характеристик мембран на производительность аппарата обратного электродиализа // Южно-Сибирский научный вестник, — 2019 г. №2 (26), С. 161–168.

Г.В. Андросов, студ.; рук. Е.В. Федорова, к.м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА В ВЫСШЕМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ

Одной из основных задач внедрения на предприятии системы управления охраной труда является снижение воздействия опасных и вредных производственных факторов на работников, минимизация профессионального травматизма, а также повышение производительности труда [3]. Приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 19.08.2016 г. №438н «Об утверждении типового положения о системе управления охраной труда» разработано положение о системе управления охраной труда (далее — СУОТ), в котором установлены цели и планирование улучшений функционирования СУОТ [1]. В то же время Трудовой кодекс РФ определяет обязанности работодателя по обеспечению работников безопасными условиями труда [2].

Объектом исследования является научно-учебно-производственный центр «Опытный завод МЭИ» (далее — ОПЗ), основным видом деятельности которого является разработка проектно-конструкторской документации на нестандартное оборудование для многофункциональных и высокоточных производств, металлообработка, механообработка, холодная штамповка и сварка.

Анализ сводных данных о результатах проведения специальной оценки условий труда на ОПЗ за 2019 год показал, что из 64 рабочих мест 6 относятся к классу опасности условий труда 3.1. Из них 3 электрогазосварщика 5 разряда, 2 маляра 4 разряда и 1 электрогазосварщик 6 разряда. Было установлено, что на работников влияют вредные химические вещества, а также тяжесть трудового процесса. На основании этого предложен комплекс профилактических мероприятий по рационализации режимов труда и отдыха. Целесообразным представляется устройство местной приточно-вытяжной вентиляции на рабочих местах электрогазосварщиков и маляров. После проектирования системы будет проведен расчет экономической эффективности мероприятий.

Литература

1. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 19.08.2016 г. №438н «Об утверждении типового положения о системе управления охраной труда».
2. Трудовой кодекс РФ.
3. ГОСТ 12.0.230.1–2015 «ССБТ. Системы управления охраной труда. Руководство по применению ГОСТ 12.0.230–2007»

А.В. Поляков, студ.; рук. А.М. Боровкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОИСКА ПОВРЕЖДЕНИЙ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

На сегодняшний день довольно часто для передачи и распределения электрической энергии используют кабельные линии (КЛ) электропередач. Это связано с тем, что КЛ имеют определенные преимущества перед воздушными линиями — закрытая прокладка, которая обеспечивает защиту от атмосферных воздействий (ветер, обледенение и т.д.), а также их проведение в малодоступных местах. Но избежать повреждений КЛ даже при использовании известных на сегодняшний день средств контроля и защиты, пока что в полной мере не удается.

По характеру повреждений в КЛ различают такие виды как: повреждение изоляции, вызывающие замыкание одно-, двух- и трехфазное на землю, замыкание фаз между собой; многофазный обрыв без заземления и т.д. Однофазное повреждение является самым распространенным видов повреждений КЛ напряжением 1–10 кВ.

Для выбора метода поиска повреждения КЛ следует знать характер повреждения кабеля. Чтобы определить характер, линию отсоединяют от источника питания и приемников, при этом используется мегомметр. Для определения характера повреждения собираются различные схемы. Если жила кабеля целая, то мегомметр покажет нулевое сопротивление, если произошел обрыв жилы, то сопротивление равно бесконечности [1].

Следующее действие — прожиг, который снижает переходное сопротивление в месте повреждения КЛ. Зная характер повреждения и полученное переходное сопротивление, определяют метод поиска. Поиск проходит в два этапа: устанавливают границы зоны (относительный метод) и поиск точного места повреждения (абсолютный метод). Для поиска места повреждений используются акустический, индукционный методы и метод накладной рамки. Из перечисленных методов универсальным методом поиска места является акустический метод. Это связано с тем, что им можно определять повреждения различного характера. Сущность метода заключается в создании в месте повреждения мощных электрических разрядов и фиксации на поверхности земли звуковых колебаний с помощью чувствительных приемных устройств [2].

Литература

1. **Дементьев В.С.** Как определить место повреждения в силовом кабеле. — М.: Энергия, 1980. — 72 с.
2. **Шалыт Г.М.** Определение мест повреждения в электрических сетях. — М.: Энергоиздат, 1982. — 312 с.

Е.А. Гунина, студ.; рук. О.Е. Кондратьева, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА

Проблема производственного травматизма является актуальной и значимой на сегодняшний день. Изменение основных процедур в области охраны труда, совершенствование технических и индивидуальных средств защиты определяет необходимость поиска новых базовых критериев оценки производственного травматизма для разработки решений по его снижению. В работе представлен сравнительный анализ основных методов анализа травматизма, включающих в себя: статистические исследования, оценку профессиональной компетентности, а также оценку риска.

Фрагмент данного анализа представлен в таблице 1.

Табл. 1. Достоинства и недостатки методов анализа производственного травматизма

Наименование метода	Оцениваемые показатели	Недостатки
Метод экспертных оценок [1]	Состояние технического оборудования; опросники; экспертные анкеты; потенциальные риски	Привлечение сторонних экспертов — абстракция мнений; трудоемкость; сложность
Метод анкетирования [2]	Условия труда; потенциальная опасность трудового процесса; разработка опросников, анкет; общее состояние работников	Не выявляет коренные причины возникновения травмоопасных ситуаций; субъективность мнения работников
Метод анализа статистических данных объекта [2]	Индексы риска (документы, отчеты, акты); количество случаев временной потери трудоспособности	Оценка условных вероятностей; оценка фактически существующих профессиональных рисков [2]

Результаты сравнения основных методов анализа производственного травматизма определили необходимость построения алгоритма оценки травматизма, направленного на выявление наиболее подходящего метода в конкретной сфере деятельности работников.

Литература

1. **Мескон М.Х**. Основы менеджмента: пер. с англ. — М.: «Дело», 1992.
2. **Дементьева Ю.В.** Совершенствование методов анализа и прогнозирования производственного травматизма в хозяйстве пути, ФГБОУ ВО РУТ «МИИТ» /Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/ — Москва, 2018 — 183 с.

С.Н. Соловьев, студ.; рук. А.А. Бакулина, асс. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В соответствии с требованиями российского законодательства в области обеспечения безопасности труда каждый работник предприятия должен пройти обучение по охране труда. Продолжительность обучения, а также требования к его организации и проведению указаны в Постановлении Минтруда РФ и Минобразования РФ от 13 января 2003 г, №1 /29 «Об утверждении порядка обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда работников организации»[1]. Для руководителей и специалистов продолжительность обучения должна быть не менее 40 часов, а для представителей рабочих профессий — 20 часов. При этом, очевидно, что отсутствие работника на рабочем месте неделю в связи с прохождением обучения является серьезной проблемой, поскольку производственные процессы во многих организациях не позволяют работнику оставить рабочее место.

Оптимальным решением данной проблемы является обучение сотрудников, которое проводится в дистанционной форме.

При современном уровне информатизации, автоматизации и доступности интернет технологий дистанционные обучающие комплексы позволяют снизить временные и трудовые затраты проверяющих и обучающихся.

В работе предложена структура дистанционного обучающего комплекса на базе интернет-сайта, разработанная с учетом статистики причин травматизма на предприятиях электроэнергетики, статистики запросов работников в поисковых системах, анкетирования, анализа программ обучения работников, утвержденных законодательством РФ и анализа программных продуктов, которые используют для обучения работников охране труда.

Обучающий комплекс поможет проводить обучение работников более качественно и эффективно.

Подробнее структура разработанного комплекса, результаты исследования и методы анализа приведены в докладе.

Литература

1. Постановление Минтруда РФ и Минобразования РФ от 13 января 2003 г, №1 /29 «Об утверждении порядка обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда работников организации» Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/908004658 (дата обращения 04.10.2019)

О.Е. Кондратьева, д.т.н., доцент; А.П. Садохов, студ.; (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ ЭЛЕКТРОТРАВМАТИЗМА В ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ КОМПАНИЯХ

Генерирующие предприятия и электросетевой комплекс традиционно относятся к опасным производственным объектам, на которых чаще остальных травмируется опытный персонал. Высокая сложность работ и сопутствующий риск получения травмы на данных объектах требуют постоянно искать наиболее эффективные пути профилактики травматизма.

В работе проведен анализ электротравматизма на объектах электроэнергетики, позволяющий выявить основные опасные ситуации, технические и организационные причины, приводящие к несчастным случаям. Анализ проводился, опираясь на сведения из годовых отчетов ПАО «Россети» в период с 2008 по 2017 годы, а также на данные о несчастных случаях в двух филиалах электросетевой компании.

С помощью статистического метода анализа производственного травматизма было выявлено, что на объектах электроэнергетики до 60% летальных и тяжелых травм, наиболее распространенным травмирующим фактором является поражение электрическим током или дугой (45%), а наиболее опасной ситуацией, приводящей к авариям и травмам, является прикосновение к токоведущим частям (34%). [1]

Анализируя данные из двух филиалов электросетевой компании было определено что, с увеличением времени от последнего инструктажа и проверки знаний снижается способность работника применять полученные знания, а наиболее травмоопасными сезонами является лето и весна. Наибольший риск получения травмы — в начале и в конце недели, а самым травмоопасным времени в течение суток является период с 12:00 до 18:00. Также было выявлено, что большинство пострадавших травмировалась в период своей профессиональной зрелости.

Полученные результаты, а также анализ нормативно-правовой базы и комплексных программ по снижению профессиональных рисков и улучшению условий труда позволяют сформировать перечень основных и дополнительных мероприятий, который может быть использован для формирования плана мероприятий по снижению травматизма в электросетевых компаниях.

Литература

1. **В.Т. Медведев, Е.С. Колечицкий, О.Е. Кондратьева.** Основы охраны труда и техники безопасности в электроустановках: учебник для вузов / М.: Издательский дом МЭИ, 2015.

П.Н. Баева, студ.; А.М. Боровкова, к.т.н.; доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ТЭС НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

При проектировании и эксплуатации теплоэнергетического оборудования тепловых электростанций уделяют особое внимание вопросам анализа надежности и её влиянии на показатели эффективности. Под надежностью понимают возможность энергетического объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех показателей, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения.

В настоящее время существуют различные аналитические, статические и физические методы для оценки надежности оборудования. В рамках работы подробно рассмотрены аналитические методы вследствие их оперативности при достаточной точности. Эти методы основаны на изучении функционального назначения оборудования ТЭС, разработке их функционально структурных схем и моделировании процессов изменения состояния системы в случае отказа оборудования. Проведен анализ имеющихся аналитических методов обеспечения надежности действующих ТЭС и методы расчета показателей надежности структурных схем энергоблоков и узлов оборудования. Для учета факторов, влияющих на надежность и бесперебойность работы, исследованы возможные отказы и аварии, а также причины их возникновения. Рассмотрена возможность применения методики оценки надежности, базирующейся на методе оценки ущерба вследствие отказов в работе элементов ТЭС. Методика «дерево отказов» позволяет составить логическую графологическую схему, представляющую собой связь событий отказа системы с отказом элементов, и выполнить анализ безотказности, ремонтопригодности и готовности системы к эксплуатации.

Литература

1. **Беляев С.А., Воробьев А. В, Литвак В.В.** Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС. — И. Томский политехнический университет, 2015 г.
2. **Рыжкин В.Я.** Тепловые электрические станции — М.: Энергоатомиздат, 1987 г.
3. **Гладышев Г.П., Аминов Р.З., Гуревич В.З.** Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС-М.: Высшая школа, 1991 г.

М.А. Родионов, студ.; рук-ли Е.В. Федорова, к.м.н., доц.;
В.С. Малышев, д.б.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ТРУДА В СКЛАДСКИХ И ОФИСНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Анализ риска следует использовать для выявления возможных опасностей производственного процесса, определения уровней рисков выявленных нежелательных событий. Адекватное проведение анализа позволяет реализовать меры по уменьшению риска в случае его допустимого уровня [1].

В складских и офисных производственных помещениях, вследствие запыленности, нарушения вентиляции возможны определенные изменения в респираторном цикле. Для оценки некоторых параметров последнего в рабочих условиях были зарегистрированы акустические характеристики дыхания пяти работников складских и офисных помещений в течение рабочего дня.

Рис. 1. КДК Паттерн-01

В качестве прибора для получения характеристик работы дыхания использовался компьютерный комплекс Паттерн-01 (рисунок 1), использующий метод, основанный на регистрации звуковых феноменов, возникающих при дыхании, с последующим анализом и математической обработкой частотных и временных характеристик спектра этих феноменов [2].

В работе приводится сравнение параметров полученных акустических характеристик, а также описание рабочего процесса на предприятии и индивидуальных заболеваний персонала. По результатам сравнения возможна оценка влияния рабочих условий на персонал складских и офисных помещений, включая качественную оценку [3] возможного риска.

Литература

1. **Медведев. В.Т.** Инженерная экология, 2002. — 687 с.:ил.
2. **Геппе Н.А., Малышев В.С.** — Компьютерная бронхофонография респираторного цикла. // М.: Медиа Сфера, 2016, 108 с.
3. **Тимофеева С.С.** Методы и технологии оценки производственных рисков: практические работы для магистрантов по направлению 280700 «Техносферная безопасность». — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. — 177 с.

В.И. Быков, студ.; Б.В. Салтыков, асп.;
рук. В.Я. Логинов, к.т.н., доц. (РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ПОДБОРОМ ФОРМЫ И ЧАСТОТЫ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ТОКА

Важным направлением современной экономики является развитие энергосберегающих технологий, к которым относится электродиализ.

По действующей технологии процесс электродиализа проводится под действием постоянного электрического поля, т.е. при постоянном токе. Скорость разделения зависит от силы тока и регулируется напряжением.

Для создания эффективных технологий в процессе водоподготовки, большие перспективы имеет использование нестационарных токовых режимов, в частности, переменный ток различной формы [1].

Известно изобретение [2], которое относится к процессу обессоливания воды в электродиализном аппарате с катионо- и анионообменными мембранами на пульсирующем токе.

При проведении процесса электродиализного разделения растворов с пульсирующим током влияние оказывают новые факторы: форма, частота и амплитуда тока.

В целях исследования была собрана лабораторная электродиализная установка с катионо- и анионообменными мембранами и источником питания пульсирующего тока с возможностью формирования сигналов произвольной формы и регулирования частоты и амплитуды.

Рабочая плотность тока в пульсирующем режиме имеет более высокие значения по сравнению с постоянным током, что увеличивает производительность электродиализатора. Кроме того, на снижение расхода электроэнергии влияет наличие интервалов с нулевым током при использовании однополупериодного режима пульсирующего тока.

В ходе работы были сделаны выводы, о снижении затрат на электроэнергию, необходимую на процесс обессоливания воды, а также увеличение производительности очистки вследствие оптимизации процесса за счет формы, частоты и амплитуды тока.

Полученные результаты могут быть использованы в разработке опытно-промышленной установки для обессоливания воды.

Литература

1. **Жермен Крейтон Г.** Основы электрохимии Л.: ОНТИ Госхимиздат, 1934.
2. **Вурдова Н.Г.** Нестационарный электродиализ в процессах водоочистки и водоподготовки // Очистка природных и сточных вод: Межвуз. сб. научи, трудов. — Ростов-н/Д. М.: РГАС, 1997.

И.А. Солдатенков, студент; рук. В.Т. Медведев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ ШУМА И ВИБРАЦИЙ ОТ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ В ЖИЛОМ ЗДАНИИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА РЕНОВАЦИИ МЕГАПОЛИСОВ

Повышенный уровень шума — это одна из наиболее актуальных проблем экологии современных мегаполисов. Влияние шума на здоровье человека может быть различным — от простого раздражения до серьезных патологических заболеваний всех внутренних органов и систем. Прежде всего, страдает слух человека [1,2]. Повышенный шум также негативно влияет на нервную систему человека, сердечно-сосудистую систему, вызывает сильное раздражение, может стать причиной бессонницы, быстрого утомления, агрессивности, влиять на репродуктивную функцию и способствовать серьезному расстройству психики. В случаях, когда за счет использования шумозащитных экранов, рационального расположения жилых кварталов и иных факторов влияние интенсивных транспортных магистралей сведено к минимуму, на первый план выходит влияние шума инженерного оборудования, обслуживающего жилые здания (вентиляция, кондиционирование, лифты, трансформаторные подстанции (ТП) и т.п.).

Шум трансформаторов вызывается вибрацией активной части, а также вентиляторами системы охлаждения [2]. Существенное влияние на шум трансформатора оказывают резонансные явления, возникающие в его отдельных элементах. Вибрация активной части трансформатора обусловлена магнитострикционными и электромагнитными силами в магнитной системе и динамическими силами в обмотках. В трансформаторах преобладает магнитострикционная составляющая вибрации.

Проведена оценка шумового воздействия трансформаторной подстанции на первом этаже жилого здания, на котором будет установлено 2 сухих трансформатора мощностью 20 кВА. Проведён сравнительный анализ существующих методов по снижению шума и вибрации, предложены оригинальные решения для достижения и сохранения комфортных акустических условий в жилом здании.

Литература

1. **Медведев В.Т., Геча В.Я., Малышев В.С.** Вибрации и шум электрических машин, трансформаторов и реакторов. — М.: Издательство МЭИ, 2018.
2. **Медведев В.Т., Скибенко В.В., Макаров А.К., Новиков С.Г. и др.** Инженерная Экология. — М.: Гардарики, 2002.

Н.М. Ефанов, студент; рук. Н.В. Озерова, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ «ЗЕЛЕНЫМ СТАНДАРТАМ»

В соответствии с ГОСТ Р 54964–2012 выделяется ряд базовых категорий, по которым и проводится оценка соответствия зданий и сооружений стандартам «Зеленое строительство». К этим категориям относятся: качество внешней среды, комфорт и экология внутренней среды, качество санитарной защиты и утилизации отходов, энергосбережение и энергоэффективность, утилизации объекта [1].

Согласно статистике, приводимой Советом по Экологическому строительству здания всего мира используют примерно 40% всей потребляемой первичной энергии, а на производство и транспортировку строительных материалов в России потребляется порядка 8% энергии [2]. Таким образом строительство и эксплуатация зданий вносят свой вклад в «парниковый эффект».

Использование современных строительных материалов, полученных введением в состав добавок вторичных материальных ресурсов, позволяет повысить энергоэффективность зданий, например, использование зол угольных ТЭС позволяет добиться улучшения их свойств. Золосодержащие бетоны имеют большую прочность и меньшую теплопроводность.

Использование таких материалов позволяет не только снизить тепло- и энергозатраты зданий, но и постепенно освобождать огромные территории, отведенные под золошлакоотвалы.

21 сентября 2019 года Постановлением правительства было принято «Парижское соглашение» [3]. В рамках соглашения страны-участники должны снизить выбросы CO_2.

Традиционное производство цемента является одним из источников выбросов CO_2 в атмосферу.

Большим преимуществом производства материалов с использованием вторичных материальных ресурсов является снижение себестоимости самих строительных материалов и выбросов CO_2 в атмосферу.

Литература

1. ГОСТ Р 54964–2012 Национальный стандарт Российской Федерации. Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости.
2. **Ефанов Н.М., Озерова Н.В.** Использование золошлаковых отходов в «зеленом строительстве». Сборник докладов Национальной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и практики в различных отраслях народного хозяйства», Пенза: «ПГУАС», 28–29 марта 2018 г.
3. Постановление Правительства РФ от 21 сентября 2019 г. №1228 «О принятии Парижского соглашения».

Д.А. Воронков, Е.М. Мясникова, студенты;
рук. М.С. Хвостова, к.г.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АДАПТАЦИЯ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ ЗАПРОЕКТНЫХ АВАРИЯХ НА АЭС С РЕАКТОРАМИ НОВОГО ТИПА

Доля атомной энергетики в общей выработке объединенных энергетических систем России в 2018 г. составила 18,7%. Продолжают разрабатываться новые поколения реакторов, в эксплуатацию вводятся новые АЭС. В связи с этим важную роль в отрасли играет безопасность.

В 2019 г. в действие была введена методика оценки радиационной обстановки при запроектных авариях на атомных станциях. В документе содержатся указания для расчета последствий запроектных аварий для реакторов ВВЭР-440, ВВЭР-1000, и РБМК-1000, однако отсутствуют аналогичные методики для новейших типов реакторов — ВВЭР-1200 и ВВЭР-ТОИ [1].

В работе проведена адаптация указанной методики путем введения новых коэффициентов, зависящих от электрической мощности реактора и массы топлива в активной зоне. Для расчетов был выбран реактор ВВЭР-ТОИ, как наиболее перспективный. Расчет проводится для г. Кострома, так как в 2030 году согласно генеральной схеме размещения объектов энергетики [2] в Костромской области планируется возобновление строительства Центральной АЭС на базе энергоблоков ВВЭР-ТОИ. Типичные погодные условия были выбраны согласно [3], расчет проводился для трех категорий устойчивости атмосферы с целью выбрать наиболее неблагоприятную.

В результате расчетов были получены данные, которые можно использовать при планировании защитных мероприятий для населения, такие как размеры зон радиоактивного загрязнения, дозы внешнего и внутреннего облучения людей, максимальные удельные объемная и поверхностная активности загрязненных территорий и др.

Литература

1. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 22.2.11–2018 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Методика оценки радиационной обстановки при запроектной аварии на атомной станции». Утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18.12.2018 г. №1130-ст // URL: http://docs.cntd.ru/document/1200161993. (Дата обращения: 15.09.2019).
2. Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2017 года №1209-р // URL: http://docs.cntd.ru/document/436742096. (Дата обращения: 25.10.2019).
3. СП 131.13330.2018 «СНИП 23-01-99* Строительная климатология». Утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 28.11.2018 №763 // URL: http://www.minstroyrf.ru/upload/iblock/d4f/SP-131. pdf. (Дата обращения: 23.10.2019).

М.Е. Пяткин, студент; рук. Н.В. Озерова, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЭС-2 НА БРАТСКОМ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОМ КОМБИНАТЕ

В соответствии с «Энергетической стратегией России на период до 2030 года» [1] стоят задачи по увеличению производства электроэнергии до 1600 млрд кВт*ч, поэтому вопрос реконструкции энергоузлов действующих электростанций представляет особый интерес.

Объектом рассмотрения является Братский целлюлозно-бумажный комбинат (ЦБК). Предприятие находится в нижней части города Братска, неподалеку от железнодорожной станции Новобратск. Комбинат располагает собственной ТЭС-2, которая занимает 2,6 га и расположена в центральной части комплекса. Основная продукция — беленая хвойная и лиственная целлюлоза, крафтлайнер и флютинг.

Модернизация ТЭС-2 предполагается путём замены паротурбинного оборудования, расположенного в машинном зале. Проанализировав рынок оборудования и исследовав режим работы предприятия, было принято решение произвести монтаж одной турбины типа П-10/39–3,6 (с конденсатором и системой регенерации, с паропроводами, водоводами, системой автоматического управления) вместо шести противодавленческих турбин типа Р-6 на ТЭС-2.

Капитальные затраты на модернизацию ТЭС-2 с турбинами производства Уральского турбинного завода составляют порядка 1,9 млрд. руб. в ценах 2019 года. Срок окупаемости данной турбины составит около 4 лет. Установка турбины позволит уменьшить расход воды.

Центральной идеей ЭС-2035 [2] является переход к ресурсно-инновационному развитию ТЭК, опирающемуся на полное использование отечественного ресурсного и инновационного потенциалов. Регенерация отработанного черного щелока на Братском ЦБК для выработки тепловой и электрической энергии позволяет повысить его энергоэффективность [3].

Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 №1715-р «Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года».
2. Проект Энергостратегии Российской Федерации на период ***до 2035*** года (редакция от 21.10.2019).
3. **Пяткин М.Е., Озерова Н.В.** «Использование отходов производства в качестве возобновляемого источника энергии на Братском целлюлозно-бумажном комбинате» Сборник докладов Национальной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и практики в различных отраслях народного хозяйства», Пенза: «ПГУАС», 28–29 марта 2018 г.

М.Д. Родионова, студент; рук. И.В. Королев к.т.н., доц. (НИУ МЭИ)

МЕТОД БОРЬБЫ СО СТРЕССОМ В ОФИСЕ

Одной из множества проблем в городах, является воздействие стресса на работников. Если человек находится в нервозном состоянии длительное время, то могут пострадать мозг, сердце, легкие, сосуды и мышцы. Это воздействие приводит к физическим и психологическим проблемам со здоровьем [1].

Рассматривается один из способов решений данной проблемы — применение вертикального озеленения. Вертикальное озеленение — это специальная конструкция с растениями, благодаря которой обычные растения размещаются на стенах и других вертикальных поверхностях. Растительность как средовосстанавливающая система обеспечивает и в определенных пределах регулирует газовый состав воздуха, степень его загрязненности, климатические характеристики городских территорий, снижает влияние шумового фактора и является источником эстетического отдыха, повышает комфортность условий проживания в городе.

Согласно отчету, опубликованного в журнале HortScience, на основании проведенного подробного анкетирования сотрудников компаний, в различных штатах США, была выявлена зависимость между индексом удовлетворенности работой и степенью «озеленения» рабочего пространства. Чем выше уровень озеленения, тем выше удовлетворенность сотрудников [2].

В другом отчете, опубликованном в сентябре 2014 года, приняли участие ученые из Университета Эксетера, Университета Гронингена в Нидерландах и Университета Квинсленда, Австралия. Исследователи обнаружили, что размещение в офисе растений поможет увеличить производительность труда сотрудников на 15% [2].

Следовательно, применение вертикального озеленения в качестве украшения офиса увеличивает производительность работы, снижает уровень стресса, уменьшает неблагоприятное воздействие на работников.

Преимущества такого проекта:

- Экономия пространства и увеличение площади озеленения
- Уникальность и эстетичность каждого проекта
- Минимальны затраты по уходу
- Улучшение микроклимата в помещении.

Список литературы

1. ИА «Амител» Что такое стресс на работе и как с ним бороться? [Электронный ресурс] URL: https://www.amic.ru/voprosdnya/324528/ (дата обращения: 9.12.2019)
2. Fitoctena Вертикальное озеленение и фитостены [Электронный ресурс] URL: https://news.fitoctena.ru/ (дата обращения: 9.12.2019)

А.С. Пыхтин, студ.; рук. М.С. Хвостова, к.г.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ РИСКОМ ПУТЕМ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ СОВОКУПНОСТИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ НА СТАНЦИИ РЕГАЗИФИКАЦИИ СЖИЖЕНЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ

Предлагаемая работа содержит научно обоснованные технические и организационные решения в области управления производственным риском на основе установленных закономерностей формирования, развития и реализации опасных производственных ситуаций, разработанной модели управления производственным риском, применение которых позволит обеспечить приемлемый уровень производственного риска на станциях регазификации сжиженных углеводородных газов [1].

Основные результаты и выводы, полученные в работе, заключаются в следующем:

1. Обоснована необходимость усовершенствовать и расширить контроль выполнения требований охраны труда и промышленной безопасности.

2. Выявлены характерные для опасной производственной ситуации общие закономерности ее проявления (стадии существования, показатели рисков).

3. Определены основные характеристики стадий опасной производственной ситуации: скорость ее развития, длительность существования, величина риска негативного события, возможность обнаружения опасной производственной ситуации, тип контроля, — что легло в основу разработки модели управления производственным риском.

4. Разработана модель управления производственным риском, сформированная с учетом характеристик стадий и механизма развития опасных производственных ситуаций. Целевая функция, реализуемая системой управления охраной труда и промышленной безопасностью — снижение производственного риска, — трансформируется в зависимости от стадии опасной производственной ситуации.

5. Каждой стадии развития опасной производственной ситуации соответствуют определенный тип контроля, осуществляемого в рамках функционирования СУОТ и ПБ, и адекватный ему алгоритм упреждающих и эффективных действий.

Литература

1. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1197.

Направление

ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ

Зав. каф. МЭП, к.э.н., доцент Н.Л. Кетоева

Секция 29.
ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭКОНОМИКИ

Председатель секции — Лисин Евгений Михайлович
Секретарь секции — Санталова Марина Сергеевна

Н.В. Промыслова, студ.; рук. И.С. Бабич, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ РОССИЙСКОГО РЫНКА СДЕЛОК СЛИЯНИЙ И ПОГЛОЩЕНИЙ

Сделки слияний и поглощений (англ. mergers and acquisitions, M&A) являются важной частью экономики каждой страны, поэтому рынок M&A развивается под значительным влиянием факторов, вызванных политическими и экономическими событиями.

Согласно исследованию, проведенному аудиторско-консалтинговой компанией KPMG в 2016 г. наблюдался рост количества сделок на рынке M&A. Общая сумма сделок увеличилась на 46% по сравнению с 2015 г. и составила 75,8 млрд. долл. Основной вклад внесли 3 ключевые сделки в нефтегазовом секторе: продажа 19,5% доли НК «Роснефть», приобретение акций в Essar Oil и приватизация «Башнефть». В 2017 г. прослеживается рост активности на рынке на 17%, при этом сумма сделок снизилась на 12% и составила 66,9 млрд. долл. Основной рост происходит в секторах телекоммуникаций и медиа, потребительском и инноваций и технологий. В 2018 г. количество сделок существенно увеличилось с 552 до 652 сделок, при этом сумма сделок снизилась на 7%, по сравнению с прошлым годом и составила 51,7 млрд. долл. Наибольший рост активности заметен в секторе инноваций и технологий, где количество сделок увеличилось в три раза по сравнению с предыдущим годом и составило 113 сделок.

Стабилизация ситуации в российской экономике способствовала росту иностранных инвестиций. В 2017 г. количество таких сделок удвоилось по сравнению с 2016 г. и сумма сделок составляет 11,4 млрд долл. В 2018 г. сумма сделок выросла на 23% и достигает 14 млрд. долл., однако в целом активность иностранных инвесторов снизилась на 21% [1].

Проведенный анализ за 2016-2018 гг. позволил выделить следующие особенности: рост количества сделок M&A, при этом сумма сделок не возрастает, вследствие отсутствия крупных сделок; отраслевая структура рынка M&A меняется, что означает постепенный переход к более диверсифицированной экономике, это создает множество ответвлений развития любой отрасли и способствует появлению различных вариантов для инвестирования; преобладают сделки на внутреннем рынке между отечественными компаниями. На поведение инвесторов наибольшее влияние оказали такие факторы, как санкции на инвестиции, тенденции в ценах на нефть и другие факторы неопределенности. Таким образом, имевшие место сделки M&A, в анализируемых отраслях, не привели к монополизации данных отраслей, что негативно могло бы сказаться на процессе ценообразования.

Литература

1. Рынок слияний и поглощений в России в 2016-2018 г. URL: https://home. kpmg

Л.А. Петрова, студ.; рук. Л.Д. Капранова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ КЛАССИЧЕСКИХ СТРАТЕГИЙ ПОРТФЕЛЬНОГО ИНВЕСТИРОВАНИЯ В КОМПАНИЯХ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В 2018 году величина инвестиционных портфелей в части ценных бумаг наиболее крупных компаний, принадлежащих к топливно-энергетическому комплексу, по данным проведённого анализа, составила 1–8% (например, ПАО НК «Роснефть» — 8%; ПАО «Газпром» — 4%; ПАО «ЛУКОЙЛ» — 2%), что свидетельствует о высокой степени актуальности исследований, посвящённых проблемам применения на практике различных стратегий портфельного инвестирования, в том числе классических.

В 2018–2019 годах наблюдалась высокая волатильность финансового рынка, о чём свидетельствует динамика таких индексов, как RTS и RVI. Отметим, что по данным эмпирического анализа, проведённого Мазаевым Н.Ю., рост ожидаемой волатильности за одну торговую сессию на 8% и более, — сигнал к сокращению портфельных позиций на 50% и использованию освободившихся денежных средств для спекуляций [1]. То есть, такое изменение можно считать значимым для инвестора, так как оно существенно влияет на применяемую им стратегию.

Колебания ожидаемой волатильности, по данным проведённого нами технического анализа, на 8% и более за один торговый день, наблюдались 6% времени (25 раз) за период с 01.01.2018 г. по 01.10.2019 г.

Высокая волатильность рынка приводит к тому, что корреляция всех торгуемых на нём активов будет стремиться к 1 [1]. Это означает, что классические стратегии Г. Марковица, В. Шарпа и Дж. Тобина, а так же подобные им, базирующиеся на принципе диверсификации риска портфеля с помощью включения в него не зависящих друг от друга активов и открытия разнонаправленных позиций, не будут эффективны.

Таким образом, применение исключительно вышеуказанных стратегий портфельного инвестирования в условиях турбулентного рынка не является рациональным решением. Факторов, которые бы указывали на обратное для компаний, относящихся к топливно-энергетическому комплексу, очевидно, нет, так как возрастание корреляции в условиях высокой волатильности характерно для фондового рынка в целом.

Литература

1. **Mazaev N.Y.** The role of macroeconomic analysis in the prediction of Russia»s equity market movements // Journal of Engineering and Applied Sciences Pakistan — 2017. — Volume 12. — Issue 4. — 829–833 p. — 1,0 p. l.

М. А Саликова, студ.; Л.Д. Капранова, доц., к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ КОМПАНИЙ НА ОСНОВЕ KPI ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Инвестиции являются неотъемлемой частью бизнеса. Компании нуждаются в инвестициях для реализации масштабных проектов. У всех компаний должна быть система показателей, уникальный набор KPI (показатель, отражающий результативность или эффективность основных действий, процессов и функций управления, показывающий степень достижения поставленных целей). Показатели инновационной деятельности — одни из важнейших в системе KPI.

Для выявления инвестиционных возможностей компаний разработана комплексная методика оценки инвестиционной привлекательности компаний. В основе данной методики лежит разработка системы ключевых показателей функционирования компании, которая будет учитывать оценку ее инновационной деятельности. [1]

Необходимо оценивать все направления инновационной деятельности с целью изучения всех реально существующих возможностей повышения инвестиционной привлекательности компании. Данный подход включает 6 направлений оценки:

1. Интеллектуальная оценка (инновационные возможности сотрудников, занимающихся разработками; способность персонала к обучению).

2. Научно-исследовательская оценка (инновационные возможности в виде наличия интеллектуальной собственности; рост количества объектов интеллектуальной собственности).

3. Производственно-техническая оценка (эффективность производственной системы; состояние основных фондов).

4. Финансовая оценка (инновационный потенциал — возможности инвестировать в инновации за счет собственных и заемных источников финансирования; оценка финансовой устойчивости и деловой активности).

5. Рыночная оценка (инновационные возможности целевых установок и ключевых стратегий; экологическая нагрузка на природную среду).

6. Организационно-управленческая оценка (доля государственной собственности в уставном капитале; доля акций в свободном обращении на фондовом рынке; дивидендные выплаты).

Системой KPI смогут пользоваться как инвесторы для принятия инвестиционных решений, так и само руководство компании для оценки ее состояния и позиций на рынке.

Литература

1. **Мицкевия А.А.** KPI инновационной деятельности госкорпорации на инвестиционной стадии // Управляем предприятием. — 2016. — №16.

С.Т. Фатуллаев, студ.; Е.Ю. Абрамова, доц., к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ПО ПОДДЕРЖКЕ МАЛОГО И СРЕДНЕГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА

Согласно информации указанной в нормативно-правовых актах [1] результативность программы развития и поддержки малого и среднего предпринимательства измеряется следующими критериями:

- рост количества занятых в малом и среднем предпринимательстве;
- увеличение количества субъектов малых форм предпринимательства;
- рост активности деятельности малого и среднего бизнеса;
- расширение налогооблагаемой базы;
- наполнение рынка товарами и услугами.

Вышеуказанные критерии стоит относить к результативности, но не к эффективности, так как они оценивают развитие малого и среднего предпринимательства, но не оценивают сами программы поддержки.

Для оценки ответственными органами исполнительной власти страны эффективности государственной программы по поддержке малого и среднего предпринимательства разработан новый комплекс обобщённых критериев с учетом недостающих показателей, таких как доля инновационной продукции и развитие региона, а также новый интегральный критерий оценки.

$$\mathrm{E} = \frac{\sum_{i=1}^{I}(Q_i + W_i + T_i + In_i)}{\mu_{s_i}} R_i \quad (1)$$

где E — интегральный критерий эффективности поддержки; I — количество получателей поддержки; Q_i — уровень роста объема производства; W_i — уровень роста количества занятого населения; T_i — уровень роста налоговых поступлений; I_{ni} — уровень производства инновационной продукции; S_i — уровень поддержки субъектов предпринимательства; R_i — уровень социально-экономического развития региона.

Особенность нового комплекса критериев и интегрального подхода к оценке заключается в том, что при применении данной системы создается возможность осуществления комплексного анализа. Также вышеуказанная система имеет гибкую форму для корректировки обобщенных критериев, что позволяет органам исполнительной власти ответственным за реализацию госпрограммы оценивать не только общую эффективность совокупности мер, а еще и эффективность каждого мероприятия в разрезе.

Литература

1. Федеральный закон от 24.07.2007 №209 «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации».

М.А. Краюшкин студ.; рук.: Д.Э. Мусаева к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ: ЦЕЛИ, ЭТАПЫ, ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Цифровая трансформация — это постоянный процесс, меняющий способ ведения бизнеса. Она требует значительных инвестиций в навыки, проекты и инфраструктуру, изменений машин и бизнес-процессов, а также постоянного мониторинга.

Основными целями цифровой трансформация организации являются: повышение эффективности основных действующих процессов организации; преобразование бизнес-модели; выход на новые рынки; расширение линейки ассортимента товаров и услуг; увеличение положительных отзывов от клиентов; сокращение затрат предприятия.

Основные трудности предприятий связаны с оптимизацией цифровых систем, повышением квалификации персонала, обеспечением безопасности и комплексной защиты личной информации, финансовых данных и всего, что в рамках цифровизации имеет хотя бы малейшие риски быть подвергнутым атаке извне.

В исследовании рассмотрены успешные примеры реализации цифровой трансформации, цели цифровизации, основные этапы внедрения, проблемы и их решения, а также расчет основных затрат организации, возникающих при осуществлении цифровой трансформации.

Положительный опыт в области цифровой трансформации в России демонстрирует ФНС России, уделяя большое внимание развитию цифровых инструментов для граждан и бизнеса, таких как: личные кабинеты, переход на новую систему администрирования ККТ с применением функции передачи данных on-line; инновационный механизм администрирования налога на профессиональный доход с помощью мобильного приложения «Мой налог».

Из актуальных данных ФНС России следует, что цифровая трансформация способствует переходу взаимодействия с целевой аудиторией на новый уровень, что ведет к увеличению прибыли организации, а в случае ФНС России — к росту уровня собираемости налогов [1].

Литература

1. **Мишустин М.В.** От первого лица // Налоговая политика и практика. 2019. №5.

А.А. Будян, студ.; рук. Ю.Н. Харитонова, к.э.н., доцент (НИУ МЭИ)

ОСОБЕННОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА ЕНВД

Современное налоговое законодательство РФ предусматривает пять специальных налоговых режимов. Одним из таких режимов является Единый налог на вменённый доход. Это налог заменяющий собой уплату ряда налогов и сборов, существенно сокращает и упрощает контакты с фискальными службами. Его могут применять ИП и организации в отношении определённых видов деятельности. ЕНВД введен на территории МО и применяется в добровольном порядке с 01.01.13 г. [1]

Таким образом, особенностью и преимуществом ЕНВД, как и любого другого специального режима, является замена основных налогов общей системы налогообложения одним — единым [2].

ИП или юрлицо теряет возможность применять спецрежим, если среднесписочная численность сотрудников превысила 100 чел. или доля участия сторонних организаций стала составлять больше 25%. Стандартная налоговая ставка составляет 15% [3].

По данным ФНС, число плательщиков ЕНВД существенно больше, чем плательщиков ПСН или УСН (см. рис. 1)

На основе вышеизложенного к достоинствам режима можно отнести: 1) Упрощенное ведение учета. 2) Возможность сочетать ЕНВД с другими режимами в зависимости от видов деятельности. 3) Независимость суммы платежа от полученного дохода. 4) Возможность уменьшить отчисление на величину страхового взноса. Среди недостатков выделим: 1) Фиксированный доход, установленный государством. 2) Лимиты по физическим показателям. 3) Обязательная постановка на учет по месту деятельности (за некоторыми исключениями).

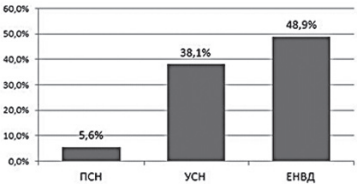


Рис. 1. Доля ИП в России, применяющих ПСН, УСН и ЕНВД [4].

Литература

1. http://www.consultant.ru
2. https://www.malyi-biznes.ru/sistemy/envd/
3. http://subschet.ru/SUBSCHET. NSF/docs/
4. https://www.nalog.ru/rn50/

А.И. Горбоносов студ.; рук. И.С. Бабич, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНОЧНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В СДЕЛКАХ СЛИЯНИЙ И ПОГЛОЩЕНИЙ (M&A)

Современная экономическая среда характеризуется интенсивным ростом сделок по слиянию или поглощению компаний, в результате которых повышается эффективность использования производственных и финансовых ресурсов.

Привлекательность мероприятий по слиянию и поглощению заключается в синергетическом эффекте. Как правило, обе стороны, осуществляющие слияние, заинтересованы в его успешности, однако на практике вычислить полную синергию очень сложно или вообще невозможно. Тем не менее, оценка стоимости вновь образуемой компании после слияния важна и для владельцев компаний планирующих свои бюджеты, и для всех остальных участников рынка акций, зарабатывающих на курсовой разнице [2].

Многочисленные исследования рынка M&A привели к разработке различных подходов к оценке синергического эффекта при слиянии и поглощении компаний, но единственный широко применимый из них — метод дисконтированных денежных потоков [1].

Оценка синергии на основе дисконтированного потока денежных потоков позволяет наиболее точно и объективно учесть и оценить все количественные и качественные формы проявления синергии от слияний и поглощений компаний. На его основе можно отбирать и заключать те сделки по слияниям и поглощениям, которые будут перспективными для развития компании.

В целом, синергия является основным мотивом большинства слияний и поглощений. Если предполагается, что при поглощении возникает синергия, то стоимость объединенной фирмы должна превышать сумму стоимостей покупающей и целевой фирм. Для обоснования слияния или поглощения широко используется следующая формула — причем как правильно, так и неправильно:

$$\text{Эффект синергии} = V_{AB} - (V_A + V_B),$$

где V_{AB} — стоимость фирмы, созданной в результате объединения A и B;
V_A — стоимость фирмы A, действующей независимо;
V_B — стоимость фирмы B, действующей независимо.

Литература

1. **Дамодаран А.** Инвестиционная оценка: Инструменты и методы оценки любых активов. М., 2019. 1324 с.
2. Оценка слияний и поглощений нефтегазовых компаний — https://home. kpmg/ru/ru/home. html.

М.А. Олисеевец, студ.; рук. М.С. Санталова
старший преподаватель (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Выбранная тема актуальна, так как в настоящее время импортозамещение является крайне важным для российской экономики ввиду существующей международной политической и экономической обстановки [1].

Целью работы является разработка и научное обоснование теоретико-методологических положений по развитию российского автопрома при импортозамещающей ориентации и разработка соответствующего инструментария их реализации в целях обеспечения повышения конкурентоспособности автомобильной промышленности России.

Методика позволяет осуществить оценку уровня локализации по каждому виду автомобильной продукции, производимой предприятием, а также по предприятию в целом с учетом НИОКР.

Уровень локализации Ул в предлагаемой методике будет исчисляться в баллах и рассчитываться по следующей формуле:

$$У_л = \Sigma B_i * N_i + A_i$$

где:

$У_л$ — Уровень локализации в баллах;

A_i — увеличение расчетного уровня локализации на n баллов, если по результатам выполненных заявителем на территории Российской Федерации НИОКР достигнуты конкурентные преимущества заявленного оборудования на отечественном рынке;

B_i — среднестатистический расчетный удельный вес технологических операций в структуре трудоемкости каждого вида оборудования [2].

N_i — доля фактически произведенной продукции по каждой технологической операции;

Разработанная методика может быть использована при подготовке стратегических управленческих решений государства и частных компаний в сфере автомобильного производства, а выводы и предложения, сформулированные по итогам исследования, могут быть положены в основу дальнейшей научной работы.

Литература

1. Анализ российского автомобильного рынка в условиях кризиса, 2016. Бакулина А.А.
2. Постановление правительства Российской Федерации от 25 мая 2019 года №661 «О внесении изменений в приложение к постановлению Правительства от 17 июля 2015 г. № 719.

М.Н. Мосюкова, студ.; рук. И.С. Андрошина, к.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АКТУАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТИ С УЧЕТОМ ЭФФЕКТА ФИНАНСОВОГО РЫЧАГА

Экономическая добавленная стоимость (EVA) — один из ключевых стратегических показателей функционирования предприятия в рамках современной экономики. Особенно актуальным в рамках финансового менеджмента представляется управление величиной экономической добавленной стоимости для формирования привлекательного инвестиционного имиджа; в рамках данного управления менеджмент осуществляет регулирование и других важных (в долгосрочной перспективе) аспектов деятельности фирмы [4].

Тем не менее модель EVA обладает одним существенным недостатком, заключающимся в игнорировании факта использования краткосрочного заимствования, которое активно используется при реализации даже крупных проектов [3]. Для устранения данного противоречия в концепции экономической добавленной стоимости необходимо добавить или заменить компоненты модели, подразумевающие учет краткосрочного заемного финансирования (формула 1) [2]:

$$EVA = (EBIT - WACC * CE) * (1 + DFL) \quad (1)$$

Где EBIT — операционная прибыль до выплаты налогов и процентов, WACC — средневзвешенная стоимость капитала, CE — инвестированный капитал, DFL — эффект финансового рычага.

При этом также предполагается модификация формулы эффекта финансового рычага (формула 2) [1]:

$$DFL = (ROCE - WACC) * (1-T) * D/E \quad (2)$$

Где ROCE — рентабельность инвестированного капитала, T — ставка налога на прибыль; D — объем используемого заемного капитала, E — объем используемого собственного капитала.

Таким образом, с помощью предложенных преобразований происходит учет всего — и долгосрочного и краткосрочного — целевого финансирования при неизменности существующего финансового положения компании.

Литература

1. **Брейли Р.:** Принципы корпоративных финансов. — М.: Олимп-Бизнес, 2016.
2. **Коупленд Т., Коллер Т., Муррин Дж.** Стоимость компании: оценка и управление. 3-е изд. стер./ Пер. с англ. М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2016.
3. Annette Holler: New Metrics for Value-Based Management: Enhancement of Performance Measurement and Empirical Evidence on Value-Relevance, 2017.
4. Shawn Tully: EVA: The Real Key to Creating Wealths // Fortune. — 1993. — №42.

В.А. Сураева, студ.; рук. Д.В. Зотова, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»)

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОНЯТИЙ «ФИНАНСОВАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ», «ЛИКВИДНОСТЬ» И «ПЛАТЕЖЕСПОСОБНОСТЬ»

Финансовое состояние предприятия зависит от его финансовой устойчивости, ликвидности и платежеспособности. Сущности этих понятий имеет большое значение для выработки единых механизмов управления финансовыми процессами. Финансовая устойчивость характеризует уровень риска деятельности предприятия и ее зависимость от заемных средств, это свидетельствует о том, что платежеспособность является частью финансовой устойчивости.

Платежеспособность — это способность предприятия своевременно рассчитываться по своим долгам. Платежеспособность предполагает наличие у предприятия денежных средств, достаточных для проведения таких расчетов. [2] Платежеспособность отождествляют с ликвидностью, хотя это не совсем корректно. Для подтверждения этого раскроем понятие «ликвидность». Следует различать ликвидность активов и ликвидность баланса. Ликвидность активов — это способность предприятия превращать активы в наличность. Ликвидность баланса — это степень покрытия обязательств предприятия его активами, срок превращения которых в деньги соответствует сроку погашения обязательств. Ликвидность активов — условие платежеспособности, а ликвидность баланса — условие финансовой устойчивости. Если рассматривать данные понятия по временному критерию, то устойчивость — долгосрочная перспектива, платежеспособность — состояние предприятия в краткосрочный период, ликвидность — состояние предприятия в конкретный промежуток времени. [1]

Итак, можно сделать вывод: финансовая устойчивость включает в себя понятие платежеспособности и ликвидности. Ликвидность при этом является связующим звеном между устойчивостью и платежеспособностью предприятия. Из финансовой устойчивости вытекает ликвидность баланса, затем ликвидность активов, из которых вытекает платежеспособность. Эти три термина необходимо анализировать комплексно, так как они являются основными для определения конкурентоспособности предприятия на рынке.

Литература

1. **Ефимова О.В.** «Финансовый анализ». М. — Издательство Омега — Л, 2014.
2. **Агеева О.А.** «Бухгалтерский учет и анализ». Москва: Издательство Юрайт, 2017.

И.В. Худякова, студ.; рук. Д.В. Зотова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОРПОРАЦИИ

В условиях рыночной экономики основной целью финансово-экономической деятельности корпорации является обеспечение максимизации благосостояния ее собственников, которое находит свое выражение через показатели рентабельности. Для оценки степени достижения данной цели в деятельности корпорации можно использовать такой показатель, как прибыль до вычета процентов и налогов (EBIT). Показатель EBIT широко используются в мировой практике для анализа финансового положения и отражается в системе международных стандартов финансовой отчетности (МСФО). [1] Преимущество данного показателя заключается в том, что он позволяет объективно сравнивать российские и зарубежные компании, российские компании между собой, компании из одного сектора рынка или сферы производства, невзирая на применяемую систему налогообложения, учитывать влияние заемных средств на основные экономические показатели.

Согласно финансовому подходу, для оценки эффективности деятельности генерирующей компании ПАО «ТГК-1», использовались показатели рентабельности капитала, рассчитанные по прибыли до уплаты налогов и процентов: рентабельность собственного капитала (ROE) и рентабельность инвестированного капитала (ROCE). При анализе этих показателей был выявлен значительный рост рентабельности на протяжении 3 лет (2016, 2017, 2018 гг.). Показатели рентабельности, посчитанные по прибыли до уплаты налогов и процентов, отражают более ясную картину относительно эффективности деятельности предприятия, так как в данный вид прибыли входят так же иные доходы, заработанные компанией, чего не отражает показатель чистой прибыли.

Таким образом, прибыль до вычета процентов и налогов EBIT, является более универсальным показателем для получения сведений о долговременной рентабельности, которая имеет значимость для оценки стоимости корпорации.

Литература

1. **Бердникова Т.Б.** Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия: учеб. пособие для вузов. / Т.Б. Бердникова. — Москва: Инфра М, 2016. — 224 с.
2. **Савицкая Г.В**. Экономический анализ: учебник для вузов / Г.В. Савицкая — М.: Новое знание, 2018. — 678 с.

Секция 30.
ЭКОНОМИКА ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Председатель секции — Шувалова Дарья Георгиевна
Секретарь секции — Амелина Анна Юрьевна

С.Б. Моисеев, асп.; рук. А.Г. Зубкова, к.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЛЮЧЕВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ УСТОЙЧИВЫХ КОНКУРЕНТНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ

В целях реализации задачи усиления конкурентной позиции России в мировой экономике, объективно необходимо смещение курса развития отечественной промышленности на эффективное развитие производства. Это определяет актуальность исследования возможностей создания и сохранения устойчивых конкурентных преимуществ (УКП) российских предприятий на основе умения руководства трансформировать уникальные технологии, производственные навыки и организационные способности в компетенции, т.е. создание и развитие ключевых компетенций (КлК).

Основываясь на изучении природы и закономерностей формирования УКП [1] в зрелых отраслях, автором определены методологические подходы к формированию деловой стратегии, направленной на создание УКП и организационно-экономического механизма ее реализации. Такой механизм должен обеспечивать управление развитием КлК для создания УКП, путем оперативной адаптации к изменению внешних воздействий и основываться на использовании: системы контроллинга, эффективного механизма коммуникаций и сформированной стратегической архитектуры процессов компании.

На основе обобщения результатов научных исследований и имеющегося практического опыта использования концепции КлК [2], автором предлагается алгоритм стратегических исследований, целью которых является построение модели стратегической архитектуры процессов компании, основанной, во-первых, на определении процессов и процедур создания потребительской ценности, во-вторых, на выявлении компонентов КлК — знаний и способностей (умений и навыков) для их реализации. Структура и элементы модели изменяются по мере изменения воздействий внешней среды, поэтому для проведения таких исследований необходима разработка научно обоснованных сценариев будущего состояния внешней среды, построенных с применением современного инструментария сценарного планирования.

Используя созданный в процессе исследований организационно-экономический механизм, может быть сформирована и реализована деловая стратегия, ориентированная на создание УКП.

Литература

1. **Прахалад К., Фаэй Л., Рэнделл Р.** Создание ключевых компетенций и их использование // Курс MBA по стратегическому менеджменту. М.: Альпина Паблишер, 2002.
2. **Маркова В.Д.** Методические аспекты выявления ключевых компетенций компании // Экономическая наука современной России. 2014. №1 (64).

Д.С. Лысенкова, студ.; рук.:А.Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ ООО «РСПК»

Финансовый анализ деятельности предприятия представляет полную характеристику финансового состояния, которая необходима для управления предприятием.

Данная работа заключается в анализе теоретических и практических аспектов финансового анализа. Результатом работы является разработка мероприятий, способных улучшить финансовое состояние предприятия.

Для улучшения финансового состояния ООО «РСПК» было предложено использовать факторинг. Факторинг предусматривает обслуживание продавца, цель которого — получить денежные средства от существующей дебиторской задолженности. После привлечения денежных средств за счет факторингового обслуживания дебиторская задолженность снизится на 650 000 тыс. руб., кредиторская задолженность — на 600 000 тыс. руб., показатели платежеспособности улучшатся (таблица 1), как и показатели финансовой устойчивость (таблица 2).

Табл. 1. Коэффициенты платежеспособности после факторинга

Показатель	Норматив	До факторинга	После факторинга	Изменение
L1	≥1	0,56	1,24	0,69
L2	≥0,1–0,7	0,04	1,01	0,97
L3	≥0,7–0,8	1,04	1,08	0,04
L4	≥2	1,11	2,03	0,91
L5	>0	0,64	0,93	0,29
L6	≥0,5	0,996	0,9724	0,024
L7	≥0,1	0,08	0,36	0,28

Анализ финансовой устойчивости выявил улучшение всех показателей финансовой устойчивости (таблица 2).

Табл. 2. Анализ финансовой устойчивости после факторинга

Показатель	Норматив	До факторинга	После факторинга	Изменение
U1	≤ 1,5	10,7	1,63	–9,06
U2	>0,1	0,08	0,36	0,28
U3	≥ 0,4–0,6	0,09	0,41	0,29
U4	≥ 0,7	0,09	0,61	0,52
U5	<0,8	0,11	0,52	0,41

Внедрение предложенного проекта позволит ООО «РСПК» улучшить свое финансовое состояние и стать менее зависимым от дебиторской задолженности. В целом финансовое состояние ООО «РСПК» улучшилось. На основании проведенного анализа, предприятие считается ликвидным, финансово устойчивым и платежеспособным.

В.Н. Бобошина, студ.; рук.: А.Ю. Амелина, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ВЫБОРА ПОСТАВЩИКОВ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЕВ ПИЩЕВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В настоящее время потребители стали более требовательны к качеству и безопасности пищевых продуктов, поэтому производители вынуждены работать с поставщиками, которые способны удовлетворить соответствующие требования. Цель данного исследования — разработка методики выбора поставщиков для предприятий пищевой промышленности с помощью методики оценки, разработанной на основе стандартов ISO 22000 и системы ХАССП [1].

Согласно разработанной методике собранные данные о поставщиках проверяются на соответствие выбранным критериям и оцениваются экспертным методом с помощью введенной шкалы оценки i, где 1 — недостаточное соответствие, 2 — достаточное, 3 — полное. Оценка степени риска каждого поставщика («П») производится с учетом коэффициентов взвешивания критерия («Кв»): $П=\sum (Кв \times i)$, затем составляется матрица рисков. Сравнение результатов лежит в основе выбора поставщика.

В число параметров оценки поставщика были включены такие показатели как «Ценообразование», «Состояние производственного оборудования», «Система контрактов» и т.д. Особенностью методики является то, что оценка поставщиков осуществляется на основе критериев, учитывающих международные стандарты, а также рекомендаций регулирующих органов. Например, показатель «Менеджмент качества оказываемых услуг» подразумевает оценку поставщика посредством ответов на следующие вопросы: «Есть ли у поставщика соответствующие лицензии?»; «Есть ли у поставщика определенная система менеджмента качества и нормативная документация?».

Показатель «Система контрактов», в свою очередь, должен учитывать критерии, предъявляемые к отчетности поставщика налоговыми органами, чтобы оценить возможность возникновения налоговых рисков.

Несоответствие поставщиков критериям может порождать для пищевого предприятия определенные риски. Например, несоответствие критерию «Менеджмент качества оказываемых услуг» порождает риск недостаточной квалификации поставщика.

Таким образом, данная методика позволяет классифицировать поставщиков по степени возникновения риска финансовых потерь от несоблюдения требований пищевой безопасности.

Литература

1. ГОСТ Р 51705.1–2001 Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. [Электронный ресурс]: http://docs.cntd.ru/document/1200007424

И.В. Галанина, студ.; рук. А.Ю. Амелина, доцент, к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗ ВЫГОД И ЗАТРАТ

Актуальность темы обусловлена недостаточным применением метода анализа выгод и затрат (cost-benefit analysis (далее — CBA)) в условиях российской действительности. CBA является аналитическим инструментом для оценки эффективности альтернативных решений, основанным на сопоставлении затрат и выгод, представленных в денежном выражении. Денежная оценка позволяет сопоставить разные по своему характеру и результатам альтернативы, распределять ограниченные ресурсы между разными сферами и направлениями деятельности [1].

Цель данной работы — разработка методики оценки косвенных эффектов от мероприятий по энергоэффективности и энергосбережению на основе метода CBA и ее апробация на примере филиалов МЭС Сибири.

Применение методики оценки косвенных эффектов необходимо для обоснования эффективности мероприятий по энергоэффективности и энергосбрежению на энергетических предприятиях. По результатам статистических данных на 2019 год в мировых странах 70% энергетических предприятий работают на эффективном оборудовании, в то время как в России лишь 20%. В ходе исследования были изучены существующие методы оценки мероприятий по энергосбережению и энергоэффективности, используемые в энергетической отрасли. Основной их недостаток состоит в их неполноте, так как из-за того, что учитываются только экономический и/или энергетический эффекты, остаются проблемы, заключающиеся в невысоком проценте экономической эффективности и длительном сроке окупаемости (15–40 лет), что приводит к нивелированию эффективности мероприятий по энергосбережению и снижению заинтересованности организаций и предприятий в применении этих мероприятий вплоть до полного отказа от них. Выявлено, что метод CBA был успешно применен в европейской компании ENTSO-E в области возобновляемых источников энергии, а также в таких странах как США, Канада и Австралия.

В итоге разработана методика экспертной оценки монетизированных и немонетизируемых косвенных эффектов: воздействие на окружающую и социальную среду, надежность и безопасность электроснабжения и т.д., предложен подход к ее интеграции в процесс формирования ключевых показателей инвестиционных проектов в Российской Федерации.

Литература

1. **Layard R., Glaister S., eds.** Cost-benefit Analysis. Cambridge University Press, 1994.

Н.В. Столбецова, студ.; рук. Е.Ю. Абрамова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ ESG-ФАКТОРОВ В КОРПОРАТИВНУЮ ПОЛИТИКУ КОМПАНИЙ В ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

В настоящее время обеспечение взаимосвязи ценностей компании с приоритетами в области защиты окружающей среды, развития общества и стратегией управления компанией (ESG-факторами) в процессе принятия инвестиционных и инновационных решений становится определяющим фактором повышения акционерной стоимости компании. В зарубежной практике объем капитала ответственного инвестирования прирастает на треть каждые два года с 2014 по 2019 год, что свидетельствует об активном росте востребованности у иностранных инвесторов учета ESG-факторов в корпоративном управлении. В этой связи особое значение приобретает интеграция ESG-факторов в корпоративную политику отечественных компаний, как неотъемлемой части долгосрочного устойчивого развития.

В ходе проведения анализа отчета Ассоциации ответственного инвестирования PRI о глобальном исследовании интеграции ESG-факторов, были выделены несколько основных барьеров, препятствующих развитию вопросов ESG в России [1]:

1. В российской практике большее внимание уделяется корпоративному управлению, как отдельному элементу, без рассмотрения проблем социальной и экологической ответственности;

2. Отсутствие единых стандартов учета и отчетности, которые могли бы отражать доступную информацию о ESG-данных компаний в интересах инвесторов;

3. Отсутствие анализа ESG-факторов с учетом особенностей национальной экономики и международного опыта.

Для преодоления основных выявленных барьеров предлагается добавлять в ежегодный отчет компаний результаты процесса интеграции ESG-факторов в корпоративную стратегию развития. Публикация данной информации будет способствовать повышению инвестиционной привлекательности компаний на российском рынке для инвесторов.

Важным шагом для отечественных предприятий будет адаптация подходов использования НТД в условиях российских реалий с учетом международного опыта. На данном этапе в России меры государственного контроля применимы только для объектов «со значительным воздействием» на окружающую среду, что значительно ослабевает контроль внедрения НТД на средние и малые предприятия.

Литература

1. Отчет Ассоциации ответственного инвестирования PRI от 17.10.2019 г.

Е.А. Зинчук, студ.; рук. Д.Э. Мусаева, к.э.н. доцент (НИУ «МЭИ»)

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА КАК ВАЖНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ СОВЕРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Развитие распределенной энергетики происходит за счёт дороговизны и сложности подключения новых объектов к электрическим сетям, недостаточной надежности существующих схем энергоснабжения, а также стремление промышленных потребителей сократить долгосрочные затраты на электроэнергию и повысить эффективность использования вторичных энергоресурсов.

Доля мощности распределенной генерации составляет 9–9,5% от энергосистемы страны. На сегодняшний день частичное использование потенциала распределенных энергоресурсов может обеспечить до половины прогнозируемого дефицита генерирующей мощности России на протяжении периода 2025–2035 (около 36 ГВт к 2035 г.) [1].

В исследовании проведен анализ строительства ветроэнергетической установки в посёлке Камчатского края, где отсутствует централизованное энергоснабжение. По данным расчёта инвестиции в проект составили 389 162 201,30 руб., ЧДД составил 150 858 381,5 руб., дисконтированный срок окупаемости–17 лет 8 месяцев, ИДД — 1,39, ВНД — 13%. Полученные данные позволяют сделать вывод, что инвестиционный проект является экономически эффективным.

Преимущества децентрализации: ограничение роста тарифов и цен, на электроэнергию и мощность, оптимизация стоимости; уменьшение вредных выбросов в атмосферу; повышение инвестиционной привлекательности электроэнергетического сектора России; создание российских компаний, способных выйти на глобальный рынок оборудования и технологий.

Недостатки децентрализации: усложнение энергетической отрасли как объекта государственного регулирования — кратное увеличение количества субъектов, отсутствие «единого центра ответственности»; социальная напряженность в случае роста цен на электроэнергию, увеличения числа отключений и аварий; проблема предприятий, технологически «завязанных» на конкретные электростанции.

На основании расчета проекта ветропарка и выявленных достоинств и недостатков, можно сделать вывод, о том, что распределенная энергетика обладает существенным числом плюсов для всех участников рынка и для российской экономики в целом.

Литература

1. **В.М. Батенина, В.В. Бушуев,** Инновационная электроэнергетика-21: монография-Москва, издательский дом «Энергия», 2017 — 584 с.

К.А. Реденко, студ.; рук. Д.В. Никифорова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ПРОЕКТ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА АНАПА)

Целью работы является определение преимуществ и недостатков использования альтернативных источников энергии в России, а также анализ возможности вложения инвестиций в строительство солнечной электростанции в городе Анапа.

Благодаря своему географическому положению Краснодарский край является идеальным местом для развития альтернативной энергетики.

При всем этом энергоснабжение края только на 35 процентов осуществляется из своих источников, поэтому энергосистема Краснодарского края является одной из самых дефицитных среди энергосистем Южного федерального округа России. Более 60 процентов электроэнергии поступает из соседних регионов. Строительство собственных электростанций может стать ключевым фактором надежности и качества энергоснабжения [1].

Для снижения энергозависимости края был проведен инвестиционный анализ, который показал, что проект является эффективным и может быть рекомендован к внедрению.

Также был проведен анализ чувствительности проекта, который показал, что ЧДД проекта наиболее чувствителен к такому фактору как тариф.

Для реализации огромного потенциала использования альтернативных источников энергии и создания благоприятного инвестиционного климата в крае можно использовать следующие предложения:

1) финансирование исследований в области возобновляемых источников энергии;

2) обмен опытом со странами-лидерами в развитии «зеленой энергии»;

3) субсидирование проектов по строительству электростанций, использующих в качестве топлива возобновляемые источники энергии;

4) льготная система кредитования и налогообложения для генерирующих компаний.

Благодаря государственной поддержке альтернативной энергетики можно значительно снизить зависимость от невозобновляемых источников энергии, так как использование альтернативной энергетики обладает огромным потенциалом с экономической точки зрения.

Литература

1. **Максимова Л.** Краснодарский край: особенности южной энергетики/ Л. Максимова// Энергетика и промышленность России. — 2016. — специальный выпуск. — С. 28.

В.Г. Гусарова, студ.; рук. Д.Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОМПЛЕКСНАЯ ПРОЦЕССНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ

По экономической природе электросетевая отрасль в России представляет собой сферу деятельности естественной монополии. Электросетевые организации вынуждены осуществлять планирование финансово-хозяйственной деятельности, исходя из ограниченности объема возможной выручки, напрямую зависящей от размера устанавливаемых государством тарифов.

Уменьшение размера фонда заработной платы в части административно-управленческого персонала (далее — АУП) является возможностью снижения объема издержек без уменьшения уровня регулируемого тарифа, и, следовательно, снижения рисков уменьшения возможного дохода электросетевых организаций.

Предложена комплексная процессная модель управления затратами на АУП, объединяющая в себе элементы и принципы таргет-костинга, кайзен-костинга и метода VCC, и включающая непрерывный анализ и снижение расходов, тесное взаимодействие функциональных подразделений, а также постоянную оценку целесообразности процесса увязки доходов с расходами. Модель предусматривает:

1) Использование передовых разработок и опыта зарубежных компаний смежного профиля в области управления персоналом.

2) Обеспечение дополнительной мотивации сотрудников через взаимосвязь общих целей компании и прямую зависимость уровня поощрений от достижения общих целей.

3) Применение инновационных разработок в части электронного документооборота, отчетной деятельности.

4) Комплексное и регулярное обучение персонала.

Внедрение в бизнес-процессы электросетевой компании разработанной модели позволит добиться множества положительных эффектов, среди которых одним из важнейших является экономия фонда заработной платы за счет непрерывного цикла анализа деятельности АУП, выявления потерь рабочего времени и устранения возникающих проблем без потери управляемости компании за счет использования инновационных механизмов осуществления деятельности персонала.

В ходе апробации представленной модели на структуре рабочего времени руководителя структурного подразделения электросетевой компании удалось выявить 33,9% свободного времени в рабочем дне. Реализация указанной экономии путем объединения нескольких должностей, сокращения штата и уменьшения затрат на АУП позволит получить экономию фонда заработной платы в объеме 1349,76 млн руб./год.

В.В. Дудкевич, студ.; рук. Д.Г. Шувалова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЛИЯНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ВЕЛИЧИНУ ТАРИФА

Исследование посвящено вопросам изучения влияния показателей качества электроэнергии (далее ПКЭ) на величину тарифа, выявлению причинно-логических связей между ПКЭ и величиной тарифа.

В исследовании решена задача учета ПКЭ как фактора, влияющего на тарифное регулирование электросетевых организаций, результатом которой является разработанная факторная модель, учитывающая взаимосвязи между ПКЭ и величиной тарифа.

В процессе исследования ПКЭ как влияющего фактора был выявлен ряд недостатков, а именно низкий уровень проработки с юридической и правовой точки зрения, неспособность учесть интересы сторон в полной мере. На основании вышеуказанных недостатков был предложен алгоритм взаимодействия между участниками энергетического рынка, направленный на оптимизацию текущих взаимоотношений.

В рамках исследования по предложенному алгоритму были проведены обосновывающие технико-экономические расчеты. На примере предприятия АО «Некрасовский машиностроительный завод» были проведены замеры качества электроэнергии, проведен анализ схемы электроснабжения и выявлены отклонения ПКЭ от нормативных значений [1]. На основании полученных данных проведена оценка технико-экономического ущерба от снижения ПКЭ, расчет тарифных последствий, а также анализ эффективности внедрения проектов, направленных на обеспечение качества электроэнергии. Так для АО «НМЗ» ежегодный ущерб от снижения ПКЭ составляет 110 тыс. руб., что эквивалентно тарифной скидке в размере 17 коп./кВт·ч.

Результатом исследования ПКЭ как влияющего фактора является вывод о том, что учет и контроль качества электроэнергии является инструментом по снижению издержек для потребителя электроэнергии и, в случае электросетевой компании, инструментом для роста объема инвестируемого капитала, что в свою очередь является обоснованием для увеличения тарифа [2].

Литература

1. Межгосударственный стандарт ГОСТ 32144–2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».
2. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 N 35.

Ю.А. Давыдова, студ.; Е.Ю. Абрамова, доц., к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ АО «ИНТЕР РАО — ЭЛЕКТРОГЕНЕРАЦИЯ»

В российской экономике лидирующую позицию занимает энергетическая отрасль. Энергетика обеспечивает бесперебойную деятельность основных отраслей экономики.

Нестабильная внешняя среда оказывает сильное влияние на эффективность деятельности любого предприятия [1]. Для решения данной проблемы необходимо проанализировать такие показатели, как рыночные условия, поведения конкурентов и тенденции развития отрасли.

Проводя оценку эффективности предприятия, для получения наиболее объективного результата, необходимо охватить все показатели в совокупности. Для комплексной оценки было предложено составить систему рейтинговой оценки эффективности деятельности энергетической компании.

При составлении рейтинговой системы были определены основные разделы показателей, который имеют большую значимость для энергетического предприятия. На основе выбранных показателей можно провести более детальный анализ, учесть специфику энергетической отрасли, а также тенденции изменения развития отрасли.

Основными группами показателей были выявлены: финансовые, технико-экономические и отраслевые показатели. Каждый блок учитывает наиболее значимые показатели для энергокомпании.

1) Финансовые показатели показывают насколько успешно функционирование предприятия.

2) Группа технико-экономических показателей даёт материально-производственное представление о предприятии.

3) Отраслевые показатели рассмотрены для отражения особенности развития отрасли.

На основании результатов, полученных с помощью рейтинговой системы, были предложены следующие мероприятия:

— оптимизация работы оборудования;
— вывод неэффективного и устаревшего оборудования;
— охрана и безопасность персонала.

Предложенные мероприятия позволят улучшить финансовое и экономическое положение энергокомпании, и обеспечить эффективную деятельность в отрасли.

Литература

1. Министерство Энергетики — Состояние Отрасли. [Электронный ресурс]: https://minenergo.gov.ru/node/53

К.В. Потапова, студ.; рук. Е.Е. Крыленко, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ ЕДИНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КЛАСТЕРА ЕАЭС

В настоящее время вопрос международной интеграции приобретает все большее значение в контексте инновационного сотрудничества и формирования экономики устойчивого развития. Одним из самых перспективных направлений развития международного сотрудничества, входящих в интересы России, является электроэнергетика [1]. В качестве одного из возможных вариантов международной кооперации стран ЕАЭС предлагается создание общего рынка электроэнергии на базе кластерного подхода.

В отличие от простого объединения рынков союзных государств, в число объектов которых входят только производители, кластер включает в себя научно-исследовательские институты и другие организации, способствующие еще более эффективному взаимодействию его участников.

Предлагаются следующие этапы формирования единого энергетического кластера ЕАЭС [2]:

1. Анализ условий создания кластера.
2. Экспериментальная проверка его эффективности.
3. Выявление финансового центра (ядра кластера).
4. Формирование условий вхождения в кластер.
5. Определение единой модели кластера.
6. Разработка механизма эффективного функционирования энергетического кластера.
7. Анализ и оценка эффективности деятельности кластерного объединения.

Кластерная модель развития международного сотрудничества в ЕАЭС имеет большой потенциал по повышению конкурентоспособности экономик стран-участников, так как позволяет объединить его участников в единый механизм, тем самым способствуя развитию инновационно-ориентированных структур. А использование инновационного потенциала обеспечивает устойчивое экономическое развитие стран и способствует быстрой адаптации предприятий к постоянно изменяющейся экономической среде.

Дальнейшее исследование направлено на оценку эффективности предложенных инициатив.

Литература

1. **Курбанов Р.А.,** Интеграционные процессы в энергетической сфере стран евроатлантического региона: правовые аспекты. М.: ЮНИТИ, 2016. — 311 с.
2. **Батталова А.А., Хасанова Г.Ф.** Механизм создания топливно-энергетического кластера // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ», том 8, №3, 2016

О.А. Жукова, студ.; рук.:Е.И. Рукина, асс. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ СТАТЕЙ ЗАТРАТ НА КОНЕЧНЫЕ ТАРИФЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Ценообразование на рынке электроэнергии — это процесс формирования системы цен на рынке энергии и мощности, приемлемых для расчётов. Тарифы являются связующим звеном между производителем энергетической продукции и ее потребителем. Тариф-система ценовых ставок, по которым осуществляются расчеты за электрическую и тепловую энергию, а также за соответствующие услуги [1].

В связи с техническими особенностями предприятие имеет высокий уровень затрат, что неразрывно связано с конечными тарифами выпускаемой энергетической продукции. Однако важно, чтобы население страны и предприятия были обеспечены требуемым объемом электрической и тепловой энергии за минимальную и доступную оплату, с оптимальным уровнем затрат (экономически обоснованным), при этом не нарушая качество конечной продукции.

В данной работе анализировались статьи затрат на примере ПАО «Квадра–Генерирующая компания» (см. таблица 1).

Табл. 1. Анализ затрат

Статьи затрат, тыс. руб.	Абс. изм. (2016–2017 гг)	Изм. уд. веса, %
Прямые материальные затраты	–1 860 728,00	–3,352
Расходы на амортизацию	682 505,60	1,500
Расходы на арендную плату за машины и оборудование	–5 203,20	–0,010
Прямые трудовые затраты	375 539,10	0,887
Косвенные затраты	408 742,60	0,975
Итого затраты на производство	–399 143,90	–

По итогам работы сделан вывод о незначительном снижении себестоимости в 2017 году (см. таблица 2).

Табл. 2. Резервы снижения издержек

Резервы снижения затрат	Значение, тыс. руб.
Снижение затрат на амортизационные отчисления	1 692 452,52
Экономия материальных затрат	–2 557 718,09

Данный положительный эффект не привел к существенному снижению конечных тарифов, поэтому были предложены мероприятия по образованию резервов снижение затрат на амортизационные отчисления, экономия материальных затрат.

Литература

1. **Любимова Н.Г.** Экономика и управление в энергетике: учебник для магистров / Н.Г. Любимова, Е.С. Петровский. — Москва: Издательство Юрайт, 2017. — 485 с.

Д.И. Кривая, студ.; рук. Д.В. Никифорова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ

Краснодарский край по природно-климатическим характеристикам является одним из самых привлекательных в России для развития генерации на основе использования АИЭ. За счет реализации потенциала АИЭ в Краснодарском крае можно получать до 2200 МВт тепловой энергии и 1300 МВт электрической энергии взамен получаемой на традиционных углеводородных топливах.

Объектом предполагаемого строительства является солнечная электростанция стационарной конструкции с установленной мощностью 2,5 МВт и эффективностью работы 0,1%. Местом предполагаемого строительства является участок общей площадью в 39000 м^2 по адресу ул. Фурманова 2. г. Краснодар. [1]

Выбор города Краснодар в качестве места предполагаемого строительства солнечной электростанции (СЭС) неслучаен. Данный город обладает высоким солнечным потенциалом. Уровень инсоляции здесь составляет 1300 кВт/м^2 в год. Для сравнения, в Германии и Чехии, которые входят в тройку стран — лидеров по развитости фотовольтаики, уровень солнечной активности в южных регионах составляет не более 1100–1200 кВт/м^2 в год. [2]

Табл. 1. Затраты на строительство СЭС

Показатели	Ед. Изм	Значения
Затраты на оборудование	Руб	91339591
Затраты на проектирование	Руб	13000000
Затраты на строительно-монтажные работы	Руб	8711680
Затраты на обслуживание персонала	руб	5306400
Затраты на обслуживание эл/ст	Руб	590000
Расчет выплат по кредиту	Руб	20756797
Расчет по кредиту с учетом государственной субсидии	Руб	5025859

Анализ окупаемости проекта строительства солнечной электростанции в г. Краснодар показал, что без государственной поддержки срок окупаемости проекта превышает срок службы оборудования. Однако даже при государственной субсидии в размере 50% от затрат на строительство и региональной надбавке на тариф сроки окупаемости составляют 17 лет.

Литература

1. Новости альтернативной энергетики. [Электронный ресурс] — URL: http://alternativenergy.ru/
2. Портал исполнительных органов государственной власти Краснодарского края. [Электронный ресурс] — URL http://www.krasnodar.ru/

М.Ю. Фадеев, студент; рук.: Шувалова Д.Г., к.э.н., доцент (НИУ МЭИ)

ТЕОРИЯ ИГР В ЭКОНОМИКЕ ЭНЕРГЕТИКИ

При регулировании отраслей ТЭК, особенно в части естественных монополий, важным аспектом является снижение временных и финансовых потерь, особенно связанных с процессами согласования и денежными убытками от принятия ошибочных решений. Исход регулирования можно просчитать с помощью теории игр.

В экономической науке применяется много моделей теории игр, представляющих собой игры самых разных классов. Применение теории игр должно позволить в рамках существующей системы управления спрогнозировать исход принятия того или иного решения. Важным аспектом является то, что применение такого математического аппарата должно снизить финансовые потери от ошибочных стратегических решений, что исключительно важно для энергетики, особенно в части анализа инвестиционной деятельности.

В процессе реализации управленческих решений необходим мониторинг хода их исполнения и корректировка последствий, что позволяет сделать теория игр [1], сильной стороной которой является рациональность. Она существенно ограничивает возможные варианты принятия решений, а также дает четкий критерий оценки эффективности принятых решений. [2] В число недостатков использования теории игр входит принятие решений в условиях неопределенности. Игра ведется по определенным правилам и с учетом ограничивающих факторов, в реальности же могут возникать маловероятные внезапные обстоятельства.

В ходе научной работы решается задача разработки рекомендаций, направленных на внедрение и применение теории игр, как математического инструмента, для точнейшего определения нужной стратегии в рамках управления издержками предприятия.

Эффект от применения разработанных рекомендаций складывается из экономии фонда заработной платы персонала с учетом повышения управляемости подразделений. Сокращение затрат на ФЗП позволит высвободить дополнительные денежные ресурсы.

Вторым аспектом является снижение издержек на внешние трансакции. Их уменьшение позволит предприятию не только снизить расходы и сократить финансовые потери, но и уменьшить временные, существование которых приводит к упущенной выгоде и прямым штрафам.

Литература

1. **А.В. Сигал.** Теория игр для принятия решений в экономике: монография / О Симферополь: ДИАЙПИ, 2014. О 308 с.
2. **Н.Н. Писарук.** Введение в теорию игр / Минск: БГУ, 2015. — 256 с.

Н.С. Окунев, студ.; рук. А.Ю. Амелина, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА С УЧЕТОМ МИНИМИЗАЦИИ ТРАНСАКЦИОННЫХ ИЗДЕРЖЕК

В современных условиях кризиса для успешного ведения бизнеса необходимо грамотное распределение финансовых потоков внутри компании. Для этого необходимо правильно рассредоточивать и управлять затратами, связанными непосредственно с производством и строительством.

Целью работы является разработка оптимальной схемы финансирования инвестиционной деятельности строительной компании с учетом минимизации трансакционных издержек.

Актуальность данной темы обусловлена большим количеством операций на рынках, которые требуют оценки затрат сопровождения сделок. При этом затраты на сопровождение сделок порождают отдельный вид издержек — трансакционный. Трансакционные издержки невозможно исключить из структуры себестоимости.

Для сохранения преимуществ на конкурентном рынке необходимо учитывать факторы, которые напрямую оказывают влияние на выбор схемы финансирования. В работе приводится одна из моделей расчета и последующей минимизации трансакционных издержек на примере конкретной строительной компании, которая учитывает основные составляющие [1], например: издержки поиска информации (Ипоиска), издержки защиты прав собственности (Изпс), издержки оппортунистического поведения (Иоп), а также другие параметры масштабности и стоимости инвестиционного проекта. В результате предполагается, что модель будет учитывать издержки сопровождение сделок, а также может быть успешно внедрена на рынок застройщиков.

Трансакционые издержки негативно влияют на рыночную эффективность и конкурентоспособность предприятий реального сектора экономики, повышая при этом общий уровень затрат производственной, инвестиционной и инновационной деятельности. Это обуславливает необходимость поиска способов их минимизации. Важно совершенствовать подходы к управлению трансакционными издержками предприятий.

Минимизация трансакционных издержек даст ряд преимущества при сопровождении сделки и минимизирует риски, связанные с потерей, прибыли, что особо актуально в нынешнее время.

Литература

1. **Игонина Л.Л.** Инвестиции. Методы финансирования инвестиционных проектов. ИД «ИНФРА-М» 2007.

Д.И. Сорокина, студ.; рук. А.Ю. Амелина, к.э.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РИСКОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Предприятие в рыночной экономике является частью рынка, взаимодействует с ним, зависит от него. Возникает необходимость в выявлении отрицательных и положительных факторов, воздействующих на предприятие и их последствий. Сочетание вероятности и последствий наступления неблагоприятных событий в научной литературе принято называть рисками [1].

Цель работы — совершенствование методики оценки рисков, возникающих в отрасли машиностроения путем разделения рисков по видам проектов. Расчет рисков по проектам позволяет учитывать специфику отрасли и выявить уникальные риски, которые при обычной оценке могли бы и не выявиться.

В данной работе проекты были разделены по такому критерию как «характер целевой задачи» на антикризисные, маркетинговые, образовательные, чрезвычайные и инновационные. Оценка рисков по типу проекта является более точной, так как при расчете могут быть учтены риски, ранее не возникавшие на предприятии и не затрагивавшие уникальность машиностроительного производства, что в свою очередь позволит более качественно и продуктивно разрабатывать новые продукты на универсальном оборудовании.

В основе данной методики оценки рисков на предприятиях машиностроения лежит метод экспертных оценок [2].

Суть методики состоит в оценке уникальных рисков путем их разбивки по специализированной шкале, учитывающей степень угрозы риска, процент вероятности его возникновения и возможность его ликвидации. Полученные результаты по оценке всех рисков сводятся в единую таблицу, где в зависимости от коэффициента влияния рисков принимают решение, реализовывать проект или нет.

Данная методика может быть применена на предприятиях отрасли машиностроения. Это приведет к ускоренному развитию предприятия в отдельности и отрасли в целом за счет более качественного отбора инновационных проектов, учитывая специфику отрасли и проектов.

Литература

1. ГОСТ Р 56275–2014 «Менеджмент рисков. Руководство по надлежащей практике менеджмента рисков проектов» — 2014 г.
2. **Н.В. Лашманова, Ю.К. Мальцев, Д.М. Климчук,** «Методы оценки риска инновационных проектов внедрения научно-технической продукции (НТП)», журнал «Инновации №5» — 2014 г., 94–97 стр.

Д.О. Климова, студент; рук.: О.А. Лыкова, ст. преп. (НИУ МЭИ)

ОЦЕНКА ЭКОНОМИИ ОТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОСТАВЩИКОВ ОБОРУДОВАНИЯ И ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПРИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИИ

Выделение существующих между добывающими и производящими отраслями взаимосвязей при анализе межотраслевого взаимодействия в ТЭК позволяет проследить формирование себестоимости продукции электроэнергетики от первичных ресурсов до конечного продукта и, в конечном счете, тарифа для конечных потребителей.

Замена иностранного оборудования отечественным должна привести не только к росту производства энергомашиностроения, но и к снижению себестоимости энергии. Очевидно, что энергетическое машиностроение, являясь технической основой энергетической отрасли, непосредственно участвует в цепочке формирования стоимости ее конечной продукции. [1]

Цель работы — оценить степень влияния уровня технологического развития энергомашиностроительной отрасли на себестоимость электрической и тепловой энергии и выявить потенциал её снижения.

В ходе выполнения работы была изучена нормативно — правовая база, регулирующая деятельность в электроэнергетике и энергомашиностроении, в том числе в виде государственной поддержки программы импортозамещения в этих отраслях в виде предоставления преференций при государственных закупках. [2]

Для оценки экономии с помощью теории графов был проведен анализ влияния стоимости продукции энергетического машиностроения на тарифы для конечного потребителя через механизм расчета амортизации при межотраслевом взаимодействии. По расчетам, влияние составляет 12%. Был выявлен потенциал и определены приоритетные направления деятельности для снижения себестоимости продукции электроэнергетической отрасли.

Оценка степени зависимости себестоимости в энергетике от цен на оборудование — это один из путей расчета возможной экономии, которая должна проявиться при составлении программ инновационного развития и инвестиционных программ энергокомпаний. Оценочно, эта величина может составить от 10 до 14% и привести к изменению структуры себестоимости энергии.

Литература

1. Официальный сайт Министерства Энергетики РФ [Электронный ресурс] — режим доступа: https://minenergo.gov.ru/
2. Федеральный закон «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» [Электронный ресурс] — режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144624/

Радаева А.С., студ.; рук.: Лыкова О.А., ст. преп. (НИУ МЭИ)

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ПРИМЕРЕ ООО «СИТИЭНЕРГО»

В работе были затронуты вопросы оценки экономической эффективности инвестиций при модернизации энергообъектов и рассмотрены особенности регулирования инвестиционного процесса в энергетике [1].

Данная работа посвящена оценке экономической эффективности инвестирования в установку обратного осмоса на энергетическом предприятии. Модернизация должна обеспечить получение положительного экономического эффекта путем сокращения текущих затрат, появляющихся из-за достаточно быстрого износа оборудования.

В ходе проведения анализа затрат предприятия ООО «СИТИЭНЕРГО» и состояния его оборудования, был сделан вывод о том, что необходима модернизация в химическом цехе путем выбора оборудования для обработки пермеата установок обратного осмоса перед подачей на электродеионизатор.

В ходе оценки экономической эффективности инвестиционного проекта и его финансовой реализуемости были рассмотрены 4 варианта системы водоочистки по критерию минимума дисконтированных затрат:

1. Установка второй ступени обратного осмоса.
2. Установка фильтров умягчения.
3. Установка фильтров умягчения и постепенная замена существующих мембран на установке обратного осмоса на высокоселективные. После изучения характеристик данных мембран, эксперты решили, что они ничем не отличаются от тех, что сейчас установлены на станции, кроме того, что их стоимость на 6% выше.
4. Установка фильтров умягчения с постепенной заменой существующих мембран на установке обратного осмоса на высокоселективные + 2-я ступень декарбонизации.

Исходя из результатов расчетов, следует принять вариант установки фильтров умягчения с одновременным введением 2-ой ступени декарбонизации. В итоге были сокращены текущие затраты и достигнута максимально надежная работа оборудования без простоев и незапланированных поломок.

Литература

1. **Щевьёва В.А.** Финансирование инновационных проектов и экономическая оценка инвестиций / Издательский дом МЭИ, 2008. — 232 с.

В.С. Косинов студ.; рук.: А.Г. Зубкова, к.т.н. проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕДУРНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ТИПИЗАЦИИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМ АЭС)

Создание типового проекта АЭС с использованием информационных систем проектирования является одним из значимых, влиятельных и необходимых с экономической и технической точки зрения работ проводимых в области проектирования и строительства АЭС [1]. ГК «Росатом» является мировым лидером по количеству контрактов на строительство атомных станций, имеющим от четверти мирового рынка [2] и контрактные соглашения в большинстве на идентичные блоки.

Типизация инженерных решений позволяет в значительной степени повысить качества проекта, получить экономические эффекты: снижение трудоемкости, трудозатрат, стоимости сооружения, снижение стоимости оборудования из-за повышения серийности и тд.

Разработка процедурной модели на основе практической работы над типовыми проектными решениями АЭС с последующим расчетом технико-экономических показателей эффективности поможет не только оценить возможный экономический эффект от применения данного проекта, но и оценить трудоемкость и эффективность корректировки типового проекта с развитием технологий. Разработанная методология может частично упростить, ускорить и удешевить типовой проект.

Мною была разработана процедурная модель, которая опирается на применение информационных технологий, баз данных, 3D моделей. Типовой проект станции является трудоемким проектом, требующий значительных трудозатрат, актуальной проблемой при его разработке является устаревание оборудования и технологических схем соответственно еще в процессе разработки типового проекта. Применяя информационные системы, можно с меньшими трудозатратами откорректировать проект и содержать его в актуальном состоянии.

Анализ экономических эффектов необходим для принятия эффективных проектных решений, направленных на обеспечение конкурентоспособности отечественных проектов АЭС на мировом рынке атомной энергетики. Применение типового проекта не только снижает стоимость оборудования и проекта в целом, а также продолжительность реализации проекта,

Проведенный автором экономический анализ показал, что применение типового проекта снижает срок окупаемости в среднем на 9% по сравнению с базовым индивидуализированным проектом.

Литература

1 Приказ по государственной корпорации по атомной энергии «РОСАТОМ» №1/267-П от 29 марта 2017.

2. Энергетический бюллетень март 2019 «Конкуренция на мировом рынке ядерных энергетических технологий». Аналитический центр при правительстве Российской Федерации Стр. 14–19.

Н.О. Якименко, асп.; рук. Е.А. Терехова, к.э.н., доц. (РТА, Москва)

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ, ИСПЛОЛЬЗУЕМОГО В ЭНЕРГЕТИКЕ

XXI век — эпоха четвертой промышленной революции, для которой характерными чертами являются активное внедрение киберфизических систем, стремительное развитие цифровых технологий, автоматизация процессов, развитие «Интернета вещей» и «Интернета энергии». В современной мировой энергетической системе наблюдается трансформационный переход, обусловленный технологическим прогрессом и развитием технологий в отрасли, увеличением мирового энергопотребления, изменением характеристик спроса на электроэнергию, экологическими вызовами [1] и т.д. Все большее распространение получает энергия, вырабатываемая за счет возобновляемых источников энергии. Данные технологии интенсивно развиваются в настоящее время и стоимость энергии от возобновляемых источников снижается. Экологически чистая электроэнергия становится все более и более конкурентоспособной на мировом рынке.

Рост использования возобновляемых источников энергии обуславливает необходимость в развитии систем хранения электроэнергии и роста эффективности ее использования. Данный вопрос является весьма актуальным для будущего развития электроэнергетики, так как без систем хранения электроэнергии невозможно эффективное использование возобновляемых источников энергии.

Формирование отечественного рынка и производства систем хранения электроэнергии в Российской Федерации идет с значительным отставанием. Среди мероприятий по развитию рынка накопителей можно выделить необходимость устранения регуляторных барьеров производства систем хранения электроэнергии, а также обеспечение конкурентоспособности продукции, выпускаемой отечественными производителями. Повышение конкурентоспособности может быть достигнуто за счет устранения эскалации Единого таможенного тарифа Евразийского экономического союза и изменений ставок ввозных таможенных пошлин на сырье, компоненты и материалы, используемые для производства систем хранения электроэнергии.

Литература

1. **В.Г. Княгинин, Д.В. Холкин** Экспертно-аналитический доклад «Цифровой переход в электроэнергетике России» М., 2017. 46с.

А.А. Градусова студ.; рук.: Е.И. Рукина ассистент. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИНАНСОВО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПАО «РУСГИДРО»

В развитии современной рыночной экономики возрастает роль анализа финансово-хозяйственной деятельности предприятий, как базы для принятия стратегических управленческих решений. Активное развитие всех отраслей экономики Российской Федерации указывает на растущую необходимость получения актуальной, доступной, достоверной и обоснованной информации о финансово-хозяйственной деятельности того или иного субъекта рыночных отношений.

В условиях динамично развивающихся экономических взаимосвязей отмечаются изменения в нормативно-правовых основах регулирования сфер учета, анализа и аудита, их реформирование. Актуализация сформированных корректировок в методологии анализа финансово-хозяйственной деятельности позволит компаниям в целях управленческой оценки выйти на уровень наиболее достоверной и обоснованной информации [1].

Предметом анализа финансово-хозяйственной деятельности является российская энергетическая компания ПАО «РусГидро» — владелец большинства гидроэлектростанций страны, одна из крупнейших российских генерирующих компаний по установленной мощности станций и третья в мире гидрогенерирующая компания. Основной деятельностью которой является производство и сбыт электроэнергии и тепла. ПАО «РусГидро» объединяет более 70 объектов гидроэнергетики общей установленной мощностью более 30 ГВт.

В данной работе были рассмотрены различные методы анализа финансово-хозяйственной деятельности, такие как: анализ платежеспособности, рентабельности, оценка финансовой устойчивости, оценка деловой активности, анализ банкротства, оценка кредитоспособности, анализ динамики и структуры прибыли. По их результатам были сделаны вывода и предложены рекомендации по улучшению финансового состояния компании.

По результатам анализа были выявлены негативные тенденции, такие как, низкий уровень рентабельности.

В целом финансовое состояние устойчивое, но для его стабилизации необходимо реализовать представленные рекомендации: улучшить рентабельность и повысить количества оборотов денежных средств, что послужит начальным этапом в восстановлении положения компании.

Литература

1. **Г.В. Савицкая** «Анализ хозяйственной деятельности предприятия» 3-е изд. Г.В. Савицкая. — Мн.: ИП «Экоперспектива», 2017 г.

Е.О. Бульканова, студ.; рук. Д.Г. Шувалова, к.э.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ НА ПРОЦЕСС СОГЛАСОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ ЭНЕРГОКОМПАНИЙ

На настоящий момент механизм согласования и увязки корпоративных стратегий и инвестиционных программ с государственными планами и стратегиями недостаточно открыт и прозрачен, энергокомпании вынуждены тратить существенные трудовые и временные ресурсы на определение критериев соответствия их программ и стратегий государственным стратегическим документам. Ввиду особой важности топливно-энергетического комплекса для нашей страны необходимым инструментом является формирование единообразных рекомендаций для компаний, систематизирующих имеющиеся правила и регламенты согласования инвестиционных программ предприятий [1].

Целью работы является определение параметров согласования инвестиционных стратегий энергетических предприятий с государственными планами и стратегиями и разработка инструмента снижения затрат, необходимых в процессе такого согласования.

Новизна исследования состоит в том, что в докладе предлагается научно обоснованная разработка инструмента сокращения ресурсов компании, необходимых для подготовки инвестиционной программы к процессу согласования, позволяющего повысить эффективность процесса согласования инвестиционных стратегий предприятий энергетической отрасли; и отличающегося от существующих на настоящий момент рекомендаций по утверждению инвестиционных программ энергокомпаний в условиях долгосрочного государственного регулирования.

Разработанный инструмент позволит энергокомпаниям сократить трудовые и временные ресурсы, необходимые для определения порядка утверждения их инвестиционных программ, позволив, таким образом, сократить трансакционные издержки и высвободить ресурсы на решение более значимых задач. Рекомендации, предложенные к внедрению автором, были применены к инвестиционным программам компании ПАО «РусГидро» и позволили четко увидеть причины необходимости доработки программ в ходе их рассмотрения и возможности сокращения сроков согласования.

Литература

1. Официальный сайт Министерства Энергетики РФ [Электронный ресурс] — режим доступа: https://minenergo.gov.ru/

Секция 31.
МЕНЕДЖМЕНТ

Председатель секции — Кетоева Наталья Леонидовна
Секретарь секции — Гулиева Сима Агиль кызы

К.В. Кудрявцев студ., рук. В.А. Епифанов, д.э.н. проф. (НИУ «МЭИ»)

К ВОПРОСУ О ФИНАНСОВОЙ ПОДДЕРЖКЕ МАЛОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В ГОРОДЕ МОСКВЕ

Актуальность темы обусловлена тем, что финансовая поддержка малого предпринимательства является важной задачей на территории города Москвы. Поддержка малого бизнеса является предметом особого внимания со стороны государства, поскольку от малого предпринимательства зависит большая часть экономики страны.

Эффективность системы финансовой поддержки малого предпринимательства определяется разработкой программ по поддержке малого бизнеса города Москвы [1].

На данный момент, малое предпринимательство сталкивается с рядом текущих проблем, часть из которых не возможно разрешить без помощи государства. В процессе анализа были выявлены проблемы, с которыми сталкиваются предприниматели в городе Москве. Среди них выделяются — плохая информированность предпринимателей о существовании финансовой поддержки малого предпринимательства в г. Москва. Для решения данной проблемы создаются необходимые меры для того что бы предприниматели получали достаточно информации для реализации своих целей в малом бизнесе. К таким мерам относятся: создание государственных программ по поддержке малого предпринимательства, а также создание и реализация сайта «Город для бизнеса», который в большей степени информирует о финансовой ситуации в городе Москва.

Таким образом, необходимость финансовой поддержки малого бизнеса обусловлена, прежде всего, экономическими потребностями. Также следует отметить, что внедрение новых субсидий и льгот не решат полностью проблемы с малым бизнесом, необходимо создать такие условия для предпринимателей, в которых в полной мере реализовывалось бы малое предпринимательство.

Литература

1. **Джейми С. Уолтерс** Качественная эволюция малого бизнеса. 4 ключа к успеху без необходимости расширения компании / Джейми С. Уолтерс. — М.: Баланс Бизнес Букс, 2017.

А.А. Чернов, студ.; рук. О.В. Колесникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НА ПРИМЕРЕ ПАО «РУСГИДРО

В настоящее время финансовая устойчивость предприятия является одним из наиболее обсуждаемых экономических вопросов, которые ставят перед собой ученые. Финансовая устойчивость современных корпораций определяют развитие национальной экономики, ее пропорции, темпы роста и влияние на мировые товарные и финансовые рынки. Финансовая устойчивость организации проявляется в ее платежеспособности за счет структуры капитала и источников финансирования, при которых обеспечивается независимость от кредиторов и снижается риск банкротства.

Табл. 1. Оценка финансовой устойчивости ПАО «РусГидро» 2017–2018 гг.

Показатели:	Формула расчета	2018	2017	Изм.
ΔСОС	Оборотные активы — Краткосрочные обязательства — Запасы	229280 млн. руб.	176308 млн. руб.	30%
ΔСДИ	СОС + Долгосрочные обязательства — Запасы	379605 млн. руб.	269383 млн. руб.	41%.
ΔОИЗ	СДИ + Краткосрочные обязательства — Запасы	414881 млн. руб.	333803 млн. руб.	24%

Модель, характеризующая тип финансовой устойчивости ПАО «РусГидро»:

$$S = \{1; 1; 1\}, \text{ т.е. } \Delta\ СОС \geq 0;\ \Delta\ СДИ \geq 0;\ \Delta\ ОИЗ \geq 0.$$

Исходя из данной модели, можно сделать вывод, что ПАО «РусГидро» имеет абсолютную финансовую устойчивость. Абсолютная финансовая устойчивость характеризуется тем, что запасы предприятия меньше общей величины собственных оборотных средств, т.е. организация не зависит от внешних кредиторов, а увеличение данных показателей говорит о повышении платежеспособности предприятия.

Литература

1. Официальный сайт ПАО «РусГидро» [Интернет-ресурс] — Режим доступа: http://www.rushydro.ru/

Е.А. Сысоева, асп.; рук. Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К РАЗВИТИЮ КОМПЕТЕНЦИЙ ПЕРСОНАЛА ОРГАНИЗАЦИИ

Отсутствие явных механизмов внедрения цифровой экономики стали основой государственной программы. Для реализации «Стратегии развития информационного общества Российской Федерации на 2017–2030 годы», программы «Цифровая экономика Российской Федерации», федерального проекта «Кадры для цифровой экономики» перед организациями и предприятиями России стоит задача развития механизма функционирования в условиях цифровой экономики и создания подходов по содействию гражданам в освоении ключевых компетенций цифровой экономики, обеспечении массовой цифровой грамотности и персонализации образования.

Персонал — самый ценный капитал в любой стране, в компании и учреждении. В современном мире уделяется большое внимание вопросу развития компетенций персонала организации через повышение квалификации, курсы переподготовки, участие в конференциях, семинарах, форумах, вебинарах и т.п. В связи с ростом количества информации, получаемой человеком из внешней среды, изменился подход к обучению. Метод записывания лекций обучаемым стал менее эффективным [1]. Осуществлен переход к использованию новых цифровых технологий, ориентированных на осмысление материала и визуализацию.

Выше сказанным подтверждается, что новый портрет сотрудника цифрового поколения, представленный на рисунке 1, создается при помощи новой модели управления системой повышения квалификации.

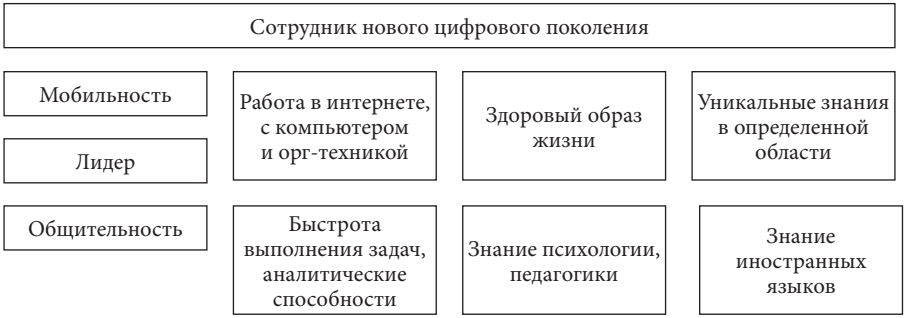


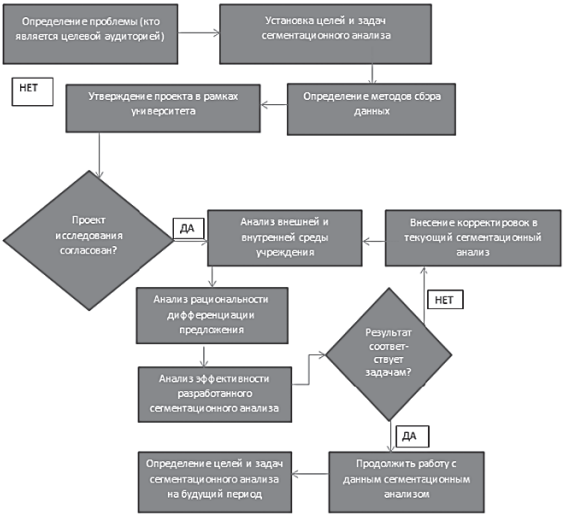
Рис. 1. Портрет сотрудника нового цифрового поколения (составлено автором)

Литература

1. **О.И. Мезенцева, Е.В. Кузнецовой.** Современные педагогические технологии: учебное пособие; Куйб. фил. Новосиб. гос. пед. ун-та. — Новосибирск: ООО «Немо Пресс», 2018.

Д.В. Якунин, студ.; рук. Н.Ф. Солдатова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СЕГМЕНТАЦИОННОГО АНАЛИЗА В МАРКЕТИНГОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА



Актуальность данной работы связана с усложнением потребительских запросов. Из этого следует что сложившаяся ситуация требует руководителей бюджетных учреждений принятия ориентированных на рынок управленческих решений. Под сегментационным анализом подразумевается анализ процесса сегментации и перечисление в рамках этого метода все свойственные процессу сегментации процедуры [1].

Автором данных тезисов было предложено внедрить алгоритм сегментационного анализа с целью повышения конкурентоспособности и достижения стратегических целей. В качестве основных элементов выделяют определение проблемы, установление целей и задач анализа, определение методов сбора данных, анализ внутренней и внешней среды учебного заведения, определение целей и задач на следующий период.

При рациональном использовании данного алгоритма сегментационного анализа предполагается повышение показателей и результативности деятельности учебного заведения.

Литература

1. **Паршин А.А.** Методы и принципы сегментационного анализа в маркетинге. [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://iteam.ru/articles. php?tid=2&pid=2&sid=23&id=522

Г.И. Цвиевич, студ.; рук. Колесникова О.В., к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ МАРКЕТИНГОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ

При разработке программы маркетинговых коммуникаций важным является проведение анализа рынка, определение и исследование целевой аудитории, ее предпочтений и потребностей, изучение способов продвижения конкурентов [1]. На рисунке 1 представлен алгоритм разработки программы маркетинговых коммуникаций.

Рис. 1. Алгоритм разработки программы маркетинговых коммуникаций

Требуется проанализировать стратегические цели компании, определяющие перспективы ее развития и направления деятельности. Немаловажным фактором, влияющим на формирование программы маркетинговых коммуникаций, является и жизненный цикл продукта, так как он является базой для разработки стратегии продвижения конкретного товара или услуги на рынке.

После изучения рынка, текущей ситуации в компании и определения целевой аудитории, осуществляется постановка целей и задач программы маркетинговых коммуникаций. Затем разрабатывается предварительный рекламный бюджет, то есть определяется та сумма, которую предприятие готово потратить на продвижение в определенный период времени, чаще всего программа маркетинговых коммуникаций составляет на год [2].

На основании данных о рынке и целевой аудитории, а также целей программы разрабатывается ее основная коммуникативная идея. Именно на данном этапе формируется креативная составляющая программы, определяются основные коммуникативные сообщения, с которыми предприятие будет обращаться к своей целевой аудитории.

Литература

1. **Котлер Ф.** Маркетинг Менеджмент. Экспресс-курс. — СПб.: Питер, 2017.
2. **Романов А.А.** Маркетинговые коммуникации. — М.: Эксмо, 2017.

А.С. Арустамян, студ.; рук. А.Г. Бадалова, д.э.н., проф. (НИУ»МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ БАНКОВСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В соответствии со сложившейся практикой и рекомендациями Банка России, специалисты трактуют банковские риски как свойственную банковской деятельности возможность получения потерь и (или) ухудшение ликвидности кредитной организации в силу возникновения неблагоприятных событий из-за воздействия рискобразующих факторов внутренней среды (сложность или громоздкость организационной структуры, низкий уровень квалификации работников, высокая текучесть кадров, организационные изменения и т.п.) и (или) факторов внешней среды (изменение экономической конъюнктуры или условий деятельности кредитной организации, совершенство и эффективность банковских технологий и т.п.) [1].

Банковский риск-менеджмент представляет собой многоступенчатый процесс, который направлен на снижение или компенсацию потерь в результате проведения операций и реализации продуктов и услуг в случае неблагоприятной для кредитной организации ситуации. Процесс управления риском в банке начинается с его идентификации и эффективной квалификации. Поскольку для того чтобы риск минимизировать, необходимо его правильно классифицировать, а также провести работу по их оценке, как с позиции стоимости потерь, так и возможной доходности операций.

При формировании механизма управления банковскими рисками следует особое внимание уделить методам их управления. Группировка методов управления рисками применительно к традиционным этапам представлена в таблице 1.

Табл. 1. Методы и этапы управления банковскими рисками

Этап управления банковскими рисками	Методы управления банковскими рисками
Идентификации	Метод экспертных оценок (дельфийский метод, морфологический анализ, сценарный анализ, метод дерева решений, коэффициентный анализ и т.д.), экономико-статистические методы
Оценка последствий наступления рисков	Индексный, дифференциальный, интегральный, методы; метод простых чисел, корреляционно-регрессионного, кластерного, факторного анализа, линейное, нелинейного программирования, экономико- математического моделирования
Выбор управляющего воздействия на рисковую ситуацию (стратегии управления рисками)	Лимитирование, резервирование, хеджирование, диверсификация, оптимизирование.
Контроль за рисками и параметрами рискообразующих факторов	Метод делегирования полномочий и распределения ответственности, мониторинг, создание системы отчетности.

Литература

1. **А.М. Тавасиев** Банковское дело в 2 ч. Часть 1. Общие вопросы банковской деятельности / А.М. Тавасиев. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2017. — 186 с.

О.С. Емелина, студ.; рук. А.Г. Бадалова, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВЫМИ РИСКАМИ

В настоящий момент по прогнозу социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 года численность населения трудоспособного возраста сократиться с 82,2 млн. чел. до 77,8 млн. чел. [1]

Также по результатам исследования компании «Pricewaterhuse Cooper» в 2018 году выявлено, что в 66% случаев виновными в совершении экономических преступлений оказываются собственные сотрудники. [2] По данным аналитического центра «Infowatch» в 53,5% случаев виновными в утечке информации оказались штатные сотрудники компаний. Более чем в 2% случаев — высшие руководители организаций и иные привилегированные пользователи. [3]

Под кадровым риском следует понимать ситуацию, которая отражает опасность нежелательного развития событий, напрямую или косвенно затрагивающих процесс функционирования и развития организации, персонала, наступление которых связано с объективными обстоятельствами, обусловленными различными причинами такими как неэффективность системы управления персоналом;

На рисунке 1 приведены основные проблемы управления кадровыми рисками.

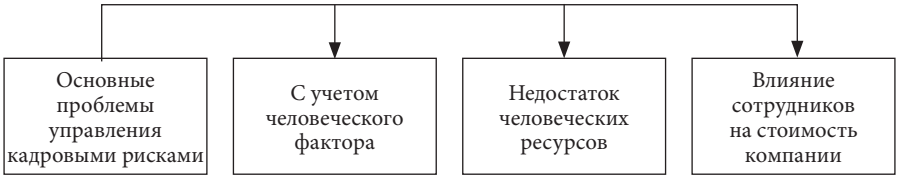


Рис. 1. Основные проблемы управления кадровыми рисками

Таким образом, решение данных проблем с помощью новой модели управления кадровыми рисками приведет к повышению эффективности деятельности предприятия, уменьшению текучести кадров, обеспечению благоприятной среды, в которой реализуется трудовой потенциал сотрудников, повышение конкурентоспособности.

Литература

1. Министерство экономического развития РФ: http://economy.gov.ru/minec/main
2. Российский обзор экономических преступлений за 2018 год: https://www.pwc.ru/ru/publications/recs-2018. html
3. Глобальное исследование утечек конфиденциальной информации в 2018 году — «Infowatch»: https://www.infowatch.ru/resources/analytics

Ю.О. Резакова, студ.; рук. Н.Ф. Солдатова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ФОРМИРОВАНИЕ РЕПУТАЦИИ ВУЗА КАК ЭЛЕМЕНТ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ МАРКЕТИНГОМ ВУЗА

Репутация является важным аспектом в деятельности высшего учебного учреждения. [1] Министерство науки и высшего образования РФ, в рамках модернизации российского образования, активно занимается вопросами формирования репутации отечественных ВУЗов и разрабатывает соответствующие проекты по максимизации конкурентной позиции ведущих российских университетов на глобальном рынке образовательных услуг. Сегодня остро стоит вопрос о репутации российских ВУЗов.

Управление репутацией, а также мониторинг и анализ репутационных рисков должны осуществляться в рамках управления маркетингом университета и являться неотъемлемыми его элементами. Автором тезиса предложено внедрить элементы механизма управления репутацией в маркетинговую деятельность ВУЗа. К основным функциям управления маркетингом традиционно относят: организацию, планирование, координацию, контроль и координацию маркетинговой деятельности. Управление маркетингом ВУЗа представляет собой следующие взаимосвязанные процессы:

1. Анализ внутренней и внешней среды ВУЗа;
2. Проектирование маркетинговой стратегии ВУЗа;
3. Планирование маркетинговой деятельности;
4. Организация маркетинговой деятельности ВУЗа;
5. Контроллинг и оценка результативности маркетинговой деятельности ВУЗа.

Разработка и применение маркетингового механизма управления репутацией ВУЗа может способствовать повышению конкурентной позиции высших учебных учреждений РФ.

Литература

1. **Резник С.Д., Юдина Т.А. У**правление репутацией высшего учебного заведения.-М.: ИНФРА-М, 2014.

С.Н. Зуева студ., рук. Е.А. Терехова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

К ВОПРОСУ О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СИСТЕМЫ ФИНАНСОВОГО КОНТРОЛЯ В УПРАВЛЕНИИ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Актуальность исследования обусловлена отсутствием типовых программ организации, развития и совершенствования системы внутреннего финансового контроля в условиях цифровизации бизнеса.

Финансовый контроль представляет собой проведение комплекса мероприятий, направленных на проверку хозяйственной деятельности того или иного предприятия с той целью, чтобы выявить все возможные нарушения и предотвратить их.

Анализ распределения основных проблем в сфере финансового контроля по масштабам компании показал, что 239 крупных компаний считают, что их основной проблемой в сфере финансового контроля является проблема информатизации. Компании малого и среднего бизнеса вообще не имеют систему финансового контроля на предприятии.

Второй по значимости проблемой стала также проблема информатизации финансового контроля, ее отметили 37% компаний.

Наиболее популярной проблемой среди компаний, оказалась утечка финансовой информации в СМИ и сеть-29%. Также среди проблем стали актуальными фишинг — обман пользователей, с помощью рассылки электронных сообщений и социальной инженерии, когда злоумышленник путем обмана вынуждает сотрудника отправить ему нужную финансовую информацию. [1].

Таким образом, необходимо совершенствовать систему оценки организации финансового контроля в условиях цифровизации бизнеса, актуализировать понятийный аппарат финансового контроля.

Литература

1. **Глухов В.В.** Дискуссионные вопросы содержания категории «Финансы хозяйствующих субъектов»: развитие теоретических аспектов // Финансы организации. — 2018. — С. 71–80.

В.А. Рыбакова, студ.; рук. Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К УПРАВЛЕНИЮ ФИНАНСОВЫМИ РИСКАМИ В ОРГАНИЗАЦИИ

Современная рыночная экономика характеризуется стремительными переменами и высокими темпами развития ее элементов, что находит свое отражение в быстром росте числа образующихся компаний, усилению степени конкуренции между ними, а также — в расширении поля возможностей и направленности их деятельности. На сегодняшний день, любая осуществляемая предпринимательская деятельность неразрывно связана с различными видами риска, именно поэтому так важно осуществлять эффективное управление ими. Рассмотрение финансовых видов риска является исключительным, потому как обеспечение финансовой безопасности организации — одно из первостепенных условий ее существования [1].

В рамках рассматриваемого вопроса были поставлены и решены следующие задачи: рассмотрена экономическая сущность финансовых рисков и их классификация; в качестве главного инструмента, позволяющего изучить процесс управления финансовыми рисками как в целом, так и относительно его компонентов, был изучен системный подход; дана общая характеристика процесса управления рисками в организации [2].

Таким образом, в результате подробного изучения теоретико — методологических основ управления финансовыми рисками был осуществлен анализ актуальных и современных подходов их регулирования, выявлены их достоинства и недостатки, а также — получено конкретное представление об управлении финансовыми рисками, как о процессе. Произведенный анализ рассматриваемой предметной области послужит обширной базой для осуществления дальнейших исследований в области управления рисками в компании и совершенствования данного процесса.

Литература

1. **П.Г. Белов** Управление рисками, системный анализ и моделирование в 3 ч. Часть 1: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / П.Г. Белов. — М.: Издательство Юрайт, 2019. — 211 с.
2. **Н.А. Вяцкова** Концептуальные и научные подходы управлению рисками предприятий // РИСК: Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. — 2017. — №2. — С. 260–264.

В.К. Котельная, студ.; рук. Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РОЛЬ НАУЧНОЙ ГРУППЫ В УПРАВЛЕНИИ НИД УНИВЕРСИТЕТА

Современная реформа высшей школы предполагает, что в рамках новой концепции университетского образования, основными принципами которой являются: образование на основе науки; глубокая фундаментальная подготовка выпускников; тесная связь с промышленностью и другими сферами экономики; усиление подготовки в области экономики и менеджмента, одним из определяющих факторов конкурентоспособности высших учебных заведений становится активизация научно-исследовательской деятельности как научно-педагогических работников, так и студентов [1].

Научная группа — это коллектив сотрудников, аспирантов и студентов университета, которые объединились для осуществления научно-исследовательской деятельности в целях развития научного потенциала университета, поддержания действующих и создания новых научных школ.

Уровни управления университетом по НИД подразделяют на стратегический, тактический и оперативный. (рис. 1) Уровни управления включают в себя следующие функции управления: планирование — планирование показателей НИД; организация — организация и выполнение НИД; мотивация — разработка новых механизмов мотивации преподавателей и обучающихся; контроль — сравнение запланированных и фактических показателей; координация — назначение ответственных лиц [2].

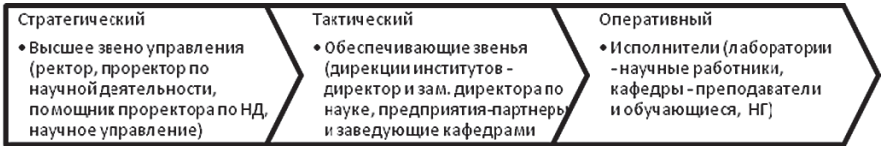


Рис. 1. Уровни управления университетом

Таким образом, для эффективного управления НИД университета, необходимо совершенствовать работу и управление над научными группами, так как, в большинстве случаев, от качественной работы научных групп зависит эффективность НИД университета.

Литература

1. **Е.А. Выходцева, М.Н. Гусева, Н.Г. Малышкин** Управление НИД в ВУЗЕ // Вестник университета. — 2015. — №9. — стр. 130
2. **Емелина О.С., Киселева М.А.** Совершенствование модели взаимодействия субъектов научно-образовательного процесса в технических университетах // Экономика и менеджмент систем управления. — 2019. — Т. 33. — №3. — с. 29–35

Д.Г. Потак, студ.; рук. О.В. Колесںткова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ ТОВАРНЫМ АССОРТИМЕНТОМ

Актуальность выбранной темы исследования обусловлена тем, что в современных российских условиях торговый бизнес существует в ситуации формирования новых мировых вызовов. [1]

При этом, экономические санкции заставили российские предприятия торговли обеспечить импортозамещения и приоритет российскому производителю на полках магазинов. Поэтому в условиях рыночной экономики ассортиментная политика является одной из неотъемлемых элементов общей стратегии торговли и развития компании [2].

В связи с этим автором было проведено исследование, посвященное изучению особенностей формирования товарного ассортимента предприятия на основе экономических и портфельных методов управления ассортиментом. Полученные результаты позволили выявить основные закономерности оптимизации структуры производства и реализации товаров, а также установить прямую зависимость между величиной прибыли предприятия, охватом целевого сегмента на рынке сбыта и эффективностью структуры ассортимента предприятия.

Полученные результаты исследования могут быть применены для практического внедрения на производящих предприятиях, а также в организациях сбытового сектора.

Литература

1. **Маркетинг-менеджмент:** учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры… / Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики»; ред. И.В. Липсиц, О.К. Ойнер. — М.: Юрайт, 2017. — 379 с.;
2. **Виноградова С.Н**. Организация и технологии торговли / С.Н. Виноградова. — М.: Высшая школа, 2015. — 412 с.

А.С. Седов, студ., рук. А.В. Уланова, асс. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Критерий хи-квадрат — это любая статистическая проверка гипотезы, в которой выборочное распределение можно сделать каким угодно близким к распределению хи-квадрат, путём увеличения размера выборки.

Таким образом, на практике, для выборки размера n из совокупности с нормальным распределением можно проверить, имеет ли дисперсия совокупности предопределённое значение. Например, производственный процесс может находиться в устойчивом состоянии долгое время, что позволяет оценить дисперсию достаточно точно. Некоторая величина процесса проверяется путём небольшой выборки из n продуктов, разброс величины которых проверяется, в качестве статистического критерия T в этом случае можно использовать сумму квадратов относительно выборочного среднего, делённую на проверяемое значение дисперсии. T имеет распределение хи-квадрат с n – 1 степенями свободы [1].

Табл. 1. Таблица сопряженности $2x^2$

	Категория 1	Категория 2	
Выборка 1	O_{11}	O_{12}	$O_{11} + O_{12}=n_1$
Выборка 2	O_{21}	O_{22}	$O_{21} + O_{22} = n_2$
	$O_{11} + O_{21}$	$O_{12} + O_{22}$	$n_1 + n_2 = N$

$T=\frac{N\left(|O_{11}\cdot O_{22}-O_{12}\cdot O_{21}|-\frac{N}{2}\right)^2}{n_1\cdot n_2\cdot(O_{11}+O_{21})\cdot(O_{12}+O_{22})}$ — формула значения статистики критерия (1), где Oij — число объектов в i-ой выборке, попавших в j-ую категорию по состоянию изучаемого свойства; i=1,2-число выборок; j=1,2 — число категорий; N — общее число наблюдений, n_1 и n^2 — объемы выборок.

В отличие от критерия Фишера, в котором идет сравнение выборочных дисперсий, и критерия Стьюдент, в котором идет сравнение средних значений в двух выборках, критерий x^2, применяется для сравнения распределений объектов двух совокупностей на основе измерений по шкале наименований в двух независимых выборках. Критерий хи-квадрат является аналогом критерия Стьюдента, но применяется для сравнения качественных признаков.

Так на примере анализа характеристик промышленных предприятий, были произведены расчеты и оценка качества с использованием формулы сравнения по качественному альтернативному признаку. Полученные результаты могут быть использованы на практике для комплексной оценки качества и долговечности изделий.

Литература

1. **Орлов А.И.** Прикладная статистика. М.: Издательство «Экзамен», 2004.

Гребенюкова А.И., студ.; рук. Уланова А.В., асс. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ НА ПРИМЕРЕ Т-КРИТЕРИЯ СТЬЮДЕНТА

На сегодняшний день t-критерий Стьюдента широко используется на практике в промышленных предприятиях. Он нацелен на сравнение различий величин средних и двух выборок. Этот критерий так-же используется для сопоставления средних у связных и несвязных выборок. Выборки не обязательно должны быть равны по величине. Среди рассматриваемых видов критериев, t-критерий является параметрическим (рис. 1). Разница критериев в том, что параметрические критерии базируются на конкретном типе распределения генеральной совокупности, в то время как непараметрические критерии совершенно свободны от распределений и не используют эти параметры.

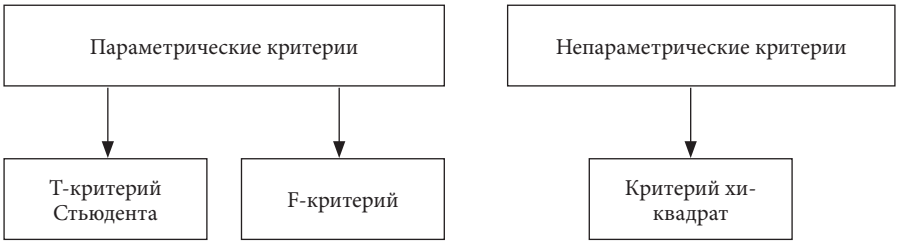


Рис. 1. Виды критериев

Актуальность применения параметрических критериев обусловлена не только выбором оптимальных решений на практике, но и эффективностью на основе рациональной организации промышленного производства в целях повышения качества и конкурентоспособности продукции.

Практической целью работы является сравнение характеристик производственного оборудования на примере t-критерия Стьюдента за определенный интервал времени. В результате данного исследования предприятие может определить для себя, какая из выборок будет лучше, чем другая по определенным параметрам и во сколько раз. Так же сравнив выборки можно получить средние значение, которое покажет нам общую картину характеристик всего выбранного нами оборудования. На основе этого принимается решения в пользу покупки определенного оборудования для предприятия.

Литература

1. **Пустыльник Е.И.** Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М.: Наука,1968

Е.А. Белгородцева, студ.; рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ МАЛОГО БИЗНЕСА

В настоящее время наблюдается существенное отставание России в развитии рыночной экономики и предпринимательства от других стран. В рыночной экономике этих стран именно предпринимательские структуры являются важнейшими хозяйствующими субъектами наряду с государственными. Опыт ведущих стран подтверждает необходимость наличия в любой национальной экономике эффективного и высокоразвитого сектора малого бизнеса. Поэтому преодоление кризисных явлений в России невозможно будет осуществить без развития данного сектора экономики, так как именно он является тем основанием, который определяет экономическое и социальное развитие. [1].

Малое предпринимательство — это новые товары и услуги, новые рабочие места, основные налоги в местные и федеральные (республиканские) бюджеты, низкие издержки и доступные цены. Предприятия малого бизнеса служат динамичной и гибкой формой реализации предпринимательской деятельности, способствуют увеличению на рынке потребительских услуг и товарной массы, обеспечению занятости населения и созданию комфортных условий для населения страны. [2].

Таким образом, в современных условиях активных трансформационных процессов общественной и экономической жизни практика государственной поддержки малого предпринимательства, правовая и институционально-инструментальная система малого бизнеса должны постоянно развиваться и совершенствоваться, отражая как новые потребности развития малых предприятий, так и сложившийся характер рыночной системы хозяйствования, рычагов государственного регулирования. Эту задачу невозможно решить без совершенствования практики осуществления государственной политики, в частности системы управления поддержкой и развитием малых предприятий.

Литература

1. **Демцура, С.С.** Малое предпринимательство: роль и проблемы развития / Новая наука: Современное состояние и пути развития. 2019. №9. С. 223–225.
2. **Полетаев, В.Э.** Государство и бизнес в России: инновации и перспективы: Монография/Полетаев В.Э. — М.: НИЦ ИНФРА-М, 2018. — 281 с.

А.Е. Беляев, студ.; рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

К ВОПРОСУ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ РИСК-МЕНЕДЖМЕНТА НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Совершенствование системы риск-менеджмента основывается на анализе и оценке конкурентоспособности предприятия, возможности успешно функционировать и развиваться на рынке. В связи с этим необходимо осуществлять непрерывный мониторинг и учёт многообразных внешних и внутренних факторов.

Риск-менеджмент, как элемент системы управления предприятием, требует развития теоретических положений и методического инструментария.

С одной стороны, это связно с изменением общеэкономической ситуации и нарастанием факторов неопределенности экономического развития, что в свою очередь актуализирует вопросы теоретического исследования. Развитие понятийного аппарата риск-менеджмента, расширение классификации факторов риска, разработки новых принципов управления в системе риск -менеджмента. С другой стороны, развитие теории формирует предпосылки совершенствования методических подходов, методов и инструментов анализа (оценки) рисков в условиях неопределенности.

Проведенные нами исследования полученных научных результатов в области управления рисками таких авторов, как Александрова А.В., Дроновой А.В., Коноваловой Е.А., Медведевой А.Н., Худякова К.Е. позволили выявить следующие проблемы в области риск — менеджмента и пути их решения.

В развитие теории вопроса в основном уделяется внимание развитию классификации системы рисков. В методической части проблемы рассматриваются в следующем направлении: развитие методики комплексной диагностики риска, анализа и оценки риска, прогнозирования рисков; разработке механизмов формирования систем интегративного риск –менеджмента на предприятии; совершенствование системы управления рисками. Следует отметить, что в основном уделяется внимание общей оценки предпринимательского риска, что явно недостаточно в современных условиях. Следовательно, актуальной проблемой является дифференциация в анализе рисков и разработка современных подходов к инструментам оценки.

Литература

1. **Плошкин В.В.** Оценка и управление рисками на предприятии: Учебное пособие / В.В. Плошкин. — Ст. Оскол: ТНТ, 2013 — 448 с.

О.В. Серёдкин, магистрант; рук. Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТА МЕТОДОЛГИИ LEAN «6 SIGM» КАРТА ПОТОКА СОЗДАНИЯ ЦЕЕННОСТЕЙ (КПСЦ), С ЦЕЛЬЮ ДИАГНОСТИКИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ, ПЛАНИРУЕМЫХ К УЛУЧШЕНИЮ, НА ПРЕДМЕТ НЕОБХОДИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ DMAIC

В настоящее время Россией взят курс, направленный на развитие, формирование системы методической и организационной поддержки повышения производительности труда на предприятиях. Это подтверждается Указом Президента от 07.05.2018 «О национальных целях и стратегических задач развития Российской Федерации на период до 2024 года».

Всякий процесс и деятельность предприятий нуждается в управлении, что является основной задачей менеджмента. Для получения желаемого результата (продукта) в системе качественного менеджмента, управлять необходимо именно деятельностью, процессами, а не результатом (продуктом).

Автор проанализировал деятельность компании АО «Мосэнергосбыт» на предмет использования подходов методологии Lean «6 Sigm», включающей в себя пять стадий: Определение, Измерение, Анализ, Совершенствование, Контроль (DMAIC или ОИАСК), с целью улучшения существующих бизнес-процессов.

Результатами анализа явились выводы о необходимости первичной диагностики выбираемого процесса для улучшения, с помощью инструмента КПСЦ (Карта потока создания ценностей). Результаты КПСЦ позволят принимать обоснованное решение о необходимости применения полноценного DMAIC. Данный подход позволит сконцентрировать внимание компании на наиболее важных вопросах и получать более существенный и качественный результат.

Литература

1. Международный стандарт ISO 13053–1 «Количественные методы в совершенствовании процессов — Шесть Сигм Часть 1 Методология DMAIC».
2. Международный стандарт ISO 13053–2 «Количественные методы в совершенствовании процессов — Шесть Сигм Часть 2 Методы и инструменты».

З.Д. Абдурахимова, студ.; рук. В.Н. Колесник, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ЛОГИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМИ СИСТЕМАМИ ПОСТАВОК ПРОДУКЦИИ

Транспортная система является одним из важных ключевых элементов логистической системы. Затраты на транспортную систему составляют одну третью в логистической деятельности предприятия [1].

Решение задач, связанных с разработкой модели оптимального маршрута перевозок продукции и мероприятий по снижению издержек погрузо-разгрузочных работ позволяют повысить эффективность транспортной системы предприятия.

Для принятия решения о транспортировке следует учитывать сложные компромиссы между различными видами транспорта, а также последствия этих компромиссов для других видов деятельности в системе распределения, таких как складирование и обслуживание запасов. Поскольку с течением времени относительные затраты на различные виды транспорта меняются, компании должны пересмотреть свои модели транспортировки, чтобы найти оптимальное распределение продукции.

Для предприятия ОАО «Хлебокомбинат» разработана модель новых маршрутов перевозок хлебобулочной продукции. В которой вместо трёх маршрутов перевозок предложено два новых маршрута. Также предлагается расширить функциональные обязанности водителя до обязанностей водителя-экспедитора. В результате возможно уменьшить затраты на 1 рубль дохода с 0,87 руб. до 0,67 руб., а себестоимость 1 авточаса с 594,16 руб. до 568,41 руб.

Литература

1. **Аникин Б.А.** Логистика производства: теория и практика: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / В.А. Волочиенко, Р.В. Серышев: отв. ред. Б.А. Аникин. — М.: Издательство Юрайт, 2019. — 454 с.

Д.Н. Садикова, студ.; рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФФЕКТИВНОСТИ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Актуальность данной работы заключается в комплексном анализе, который позволяет выявить сильные и слабые стороны в работе предприятия и логистической системе и использовать их для устранения проблем в будущем.

Понятие и сущность логитистической системы заключается в том, что это динамическая, открытая или стохастическая сложная или большая система с обратной связью, которая выполняет определены логистические функции. [17, с. 58]

Основные показателями логистики для проведения комплексного анализа являются: качество логистического сервиса, общие логистические издержки, время, надежность, безопасность и т.п. К методам комплексного анализа относятся SWOT — анализ, корреляционный анализ и метод определения лучшего поставщика.

Анализ логистической системы и экономическая характеристика компании ООО «Джинсовая Симфония» и комплексный анализ ее эффективности показал, что лучшим поставщиком по показателям цены и надежности является ООО «Pepe Jeans». Уровень логистического сервиса ООО «Джинсовая Симфония» оценивается как 1,14, а уровень логистических издержек 2, 25 руб./ ед. в день, что является приемлемым.

Результаты исследования показали, что необходимо включить в показатели комплексного анализа показатель качества и показатель выбора поставщика. Для улучшения уровня логистического сервиса был проведен ABC–XYZ анализ, а также предложен к внедрению модуль системы SAP SRM. Так же был проведен SWOT анализ, с новыми выявленными возможностями и угрозами. В результате корректировки показателей, лучшим поставщиком остался «Pepe Jeans» с уровнем 0,8504, а уровень логистического сервиса стал 2,328.

Литература

1. **Курочкин, Д.В.** Логистика: курс лекций / Д.В. Курочкин. — Минск: ФУАинформ, 2012. — 268 с.

Шнан Р.А., студ, рук. Киселева М.А., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В СФЕРЕ ЖКХ В ДЕПАРТАМЕНТЕ ЖКХ ГОР. МОСКВЫ

В регионах России наблюдается ежегодный рост тарифов на коммунальные услуги, в связи с этим необходимо разрабатывать новые меры по совершенствованию оказываемых услуг органами управления ЖКХ.

Система управления ЖКХ предназначена для работы как в ТСЖ и ЖСК, так и в автоматизации специализированных Управляющих компаний (УК), созданных для управления и/или эксплуатации, технического и санитарного содержания многоквартирных домов [1].

В рамках исследования, был проведен анализ Департамента жилищно-коммунального хозяйства г. Москвы, где было выявлено, что до сих пор не во всех квартирах установлены счетчики (рис. 1).

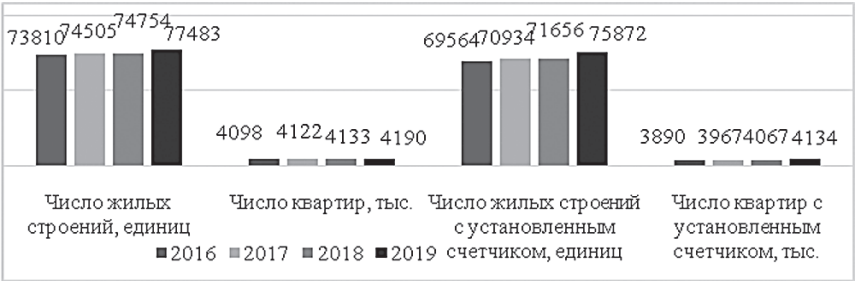


Рис. 1. Жилищный фонд города Москвы

Также был проведен опрос посетителей Департамента на выявление видов жилищно-коммунальных услуг, нуждающихся в первоочередном улучшении, где были выявлены следующие недостатки по водоснабжению, ремонту подъездов и благоустройству прилегающих территорий. На основании недостатков предлагаются следующие рекомендации: 1) Установка счетчиков водоснабжения. 2) Установка энергосберегающего освещения. 3) Разработка и внедрение ПО.

При расчете, экономия водоснабжения за счет установки счетчиков составит 506,93 рубля, а при замене энергосберегающих ламп составит 33,26 рублей ежемесячно. Предложенные рекомендации позволят улучшить систему управления Департамента ЖКХ, а также стабилизировать его работу.

Литература

1. Диссертация Королевой Екатерины Юрьевны «Совершенствование предоставления коммунальных услуг домохозяйствам в городских поселениях и округах», 2017, 30 с.

Е.П. Ястребова, студ.; рук. А.Г. Бадалова, д.э.н., проф. (НИУ»МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНОВ СОЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГБУ ТЦСО «АРБАТ»)

Социально — экономическая ориентация страны повышает важность вопросов, которые связанны с социальной защитой населения, а также являются наиболее актуальными для граждан страны и для государства.

От быстроменяющихся условий жизни, перед органами социальной защиты всегда стоит главная задача повышения уровня и качества жизни населения. Именно поэтому органы социальной защиты постоянно должны совершенствовать свою деятельность и эффективно решать все социальные проблемы государства и граждан.

Социальная защита — представляет собой систему законодательно установленных государством принципов, правил, а так же социальных, организационных, экономических, правовых, здравоохранительных мероприятий направленных на защиту граждан от социальных рисков, которые пагубно влияют на качество жизни населения [1].

В ходе проведения анализа ГБУ ТЦСО «Арбат» и результатов реализации мер социальной защиты населения в ГБУ ТЦСО «Арбат» была выявлена такая проблема, как, неэффективная и некачественная работа социальных работников [2]. Эту проблему целесообразно устранять с помощью предлагаемых мероприятий:

1. Оценка эффективности труда социальных работников;
2. внедрение стимулирующих выплат для социальных работников.

Введение данных мероприятий позволит улучшить качество оказываемых социальных услуг, доход ГБУ ТЦСО «Арбат», заработную плату социальных работников и позволит получить социально — экономический эффект, который окажет влияние на социальных работников, получателей социальных услуг и на само социальное учреждение в целом.

Литература

1. **Замараева З.П.** Социальная защита и социальное обслуживание населения: Учебник для бакалавров / З.П. Замараева — М.:Дашков и К, 2017. — 174 с.
2. Государственное бюджетное учреждение города Москвы Территориальный центр социального обслуживания «Арбат» // [Электронный ресурс] URL: http://tcso-arbat.ru/

Котельная В.К. студ., рук. М.А. Киселева, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАУЧНЫХ ГРУПП «НИУ «МЭИ»

В условиях сокращения времени на подготовку бакалавров (до 4 лет) целесообразно формировать и развивать профессионально-творческие компетенции не только средствами учебной деятельности, но и в рамках научно-исследовательской деятельности. В федеральных государственных образовательных стандартах (ФГОС) научно-исследовательская деятельность включена в содержание профессиональной подготовки бакалавров и магистров и должна способствовать профессионально-творческому развитию студентов.

Научная группа — это творческий коллектив сотрудников, аспирантов и студентов НИУ «МЭИ», объединившихся в рамках научно-технической деятельности для развития научного потенциала НИУ «МЭИ», поддержания действующих и создания новых научных школ, обеспечения кадрового воспроизводства научно-педагогических работников НИУ «МЭИ». [2]

В ходе проведения анализа эффективности деятельности научных групп «НИУ «МЭИ», были выявлены кафедры, которые по сравнению с лидерами занимают низкие позиции. В следствии этого предлагается переформировать научные группы «НИУ «МЭИ» по приоритетным направлениям развития РФ, приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники и приоритетными направлениями развития «НИУ «МЭИ». [1]

Рис. 1. Направления формирования научных групп «НИУ «МЭИ»

Таким образом при формировании предложенных научных групп, с помощью применения метода сценарного подхода при оптимистичном варианте количество заявок на конкурсы и число договоров может увеличиться на 10%.

Литература

1. Перечень приоритетных направлений развития науки, технологий и техники Российской Федерации до 2020 года
2. https://mpei.ru/science/sciensegroup/Pages/default. aspx

П.М. Иванов, студ.; рук. М.О. Коробко к.э.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СУЩНОСТЬ КОРПОРАТИВНОГО БРЕНДА АВИАКОМПАНИИ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ АВИАУСЛУГ

Сегодня на российском рынке авиауслуг работает около 100 отечественных авиакомпаний, из которых только пять являются лидерами рынка. В результате мы наблюдаем войну брендов, часть из которых с каждым годом теряет свои позиции на рынке, а некоторые вообще прекращают свое существование и уходят с него.

Корпоративный бренд авиакомпании — это совокупность множества визуальных и вербальных элементов бренда авиакомпании, транслирующих ее конкурентные преимущества и обещания целевым группам. Он тесно связан с такими параметрами, как надежность, пунктуальность, безопасность, регулярность полетов, потребительскими свойствами и ценой оказываемых услуг, сложившимся имиджем и репутацией авиакомпании на рынке и во многом формируется ими [1].

Структуру корпоративного бренда составляет идеологическая составляющая, система визуальной и вербальной идентификации, а также коммуникационные носители, отражающие и транслирующие идею бренда [2].

В авиации корпоративный бренд особенно важен: создание корпоративного бренда авиакомпании способствует не только росту прибыли и объема продаж, повышению рыночной стоимости компании за счет назначения престижных цен на свои авиаперевозки, расширению ассортимента и знаний потребителей об уникальных качествах услуг, но и дает контроль над рынком и способствует реализации долговременной программы эффективного развития авиакомпании [1].

Таким образом, корпоративный бренд авиакомпании — это не просто реклама или запоминающееся имя; это гарантия качества, соответствующего уровня безопасности и сервиса. Он является важной составляющей любой авиакомпании, т.к. определяет образ жизни авиакомпании, ее стратегические решения и направления дальнейшего развития. Самое главное, что он позволяет делать, — это власть над «людскими умами». Поэтому его необходимо целенаправленно формировать.

Литература

1. **Костромина Е.В.** Авиатранспортный маркетинг: учебник / Е.В. Костромина. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: ИНФРА-М, 2019. — 360 с.
2. **Тамберг В.** Бренд. Боевая машина бизнеса. — М.: Олимп-бизнес, 2017. — 240 с.

М.М. Зиновьева, студ.; рук. М.О. Коробко к.э.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФИРМЕННОГО СТИЛЯ АВИАКОМПАНИИ

При выборе авиакомпании, клиенты ориентируются не только на цену билета, качество и ассортимент предоставляемых услуг, безопасность полетов, маршрутную сеть, но и на эмоциональное, визуальное и вербальное восприятие авиакомпании, складывающееся в первую очередь под воздействием ее фирменного стиля.

Фирменный стиль авиакомпании — это совокупность цветовых, графических, пластических, акустических, видеоприемов, которые обеспечивают единство по всем изделиям и мероприятиям авиакомпании, улучшают восприятие и запоминаемость потребителями, партнерами, а также независимыми наблюдателями не только услуг компании, но и всей ее деятельности, и позволяют противопоставлять свои услуги услугам непосредственных конкурентов. Он выступает как незабываемая визитная карточка авиакомпании для многочисленных воздушных путешественников и является основой коммуникационной политики компании. Основная задача фирменного стиля — увеличить запоминаемость авиакомпании клиентами, противопоставить свои услуги услугам конкурентов [2].

Минимально необходимый пакет фирменного стиля для авиакомпании включает в себя такие элементы как: название, товарный знак, логотип, фирменный слоган, фирменные цвета с учетом всех допустимых сочетаний, основной и вспомогательный фирменный шрифт, шаблон оформления рабочей документации, иллюстративно-имиджевый ряд (дизайн внутреннего оформления и авиа-ливреи воздушных судов, дизайн интерьера офисов и помещений, дизайн внутренней и деловой документации, дизайн фирменных сувениров, дизайн официального Интернет-сайта, дизайн униформы сотрудников) [1].

Таким образом, наличие фирменного стиля у авиакомпании — это показатель солидности и надежности, а в современной ситуации — это стратегическая необходимость и неотъемлемая часть деловой этики.

Литература

1. **Костромина Е.В.** Авиатранспортный маркетинг. — М.: Дрофа, 2019. — 368с.
2. **Кузнецов И.Г.** Фирменный стиль компании. — М.: ДоминионМ, 2017. — 98с.

Е.С. Барсукова студ., рук. В.А. Епифанов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СТИМУЛИРОВАНИЕ МОТИВАЦИИ ТРУДА ПЕРСОНАЛА В ООО «УК РАЗВИТИЕ»

Мотивация включает в себя мероприятия, направленные на ценности и потребности подчиненных, которые стимулируют не только к работе, но и к усердию, инициативности, достижению поставленных целей в своей деятельности, к совершенствованию профессионального уровня, и повышению эффективности работы организации. Мотивация работников должна учитывать стратегические цели, особенности культуры предприятия, долгосрочные планы развития. Мотивация должна состоять из двух систем, которые представляют собой комплекс материальных и нематериальных стимулов и мотивационных воздействий [1].

При оценке мотивации труда персонала в ООО «УК Развитие» было выявлено понижение процента выполнения целевых задач в департаментах. При выполнении целевых задач сотрудники столкнулись со следующими сложностями: маленький процент заполнения баз данных, возникли проблемы с выдачей ключей из-за большого объема работы и текучки сотрудников, несвоевременное оформление необходимой документации и выполнение поручений руководителя, проблемы с согласованием бизнес-планов финансирования с контрагентами, увеличилось количество жалоб о несвоевременном информировании сотрудниками департамента клиентов, не произведен запуск системы из-за отсутствия необходимых данных от сотрудников организации.

Для стимулирования мотивации труда персонала в ООО «УК Развитие» были предложены следующие методы: повышение автоматизации процессов и обновление программы 1С, проведение мониторинга выполнения протоколов и поручений генерального директора, увеличение количества проведения тимбилдинга, организация анкетирования сотрудников не реже 3 раз в год.

После введения данных мероприятий в ООО «УК Развитие»: вырос процент выполнения целевых задач департаментов организации; увеличилось исполнение поручений и протоколов; увеличилась продажа квартир.

Литература

1. **Чекмарев О.П.** Мотивация и стимулирование труда: Учеб. Пособие/ О.П. Чекмарев. — СПб.: СПбГАУ, 2013. — 343 с.

А.Ж. Бикбаева, студ.; рук. А.Г. Бадалова, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РЕГУЛИРОВАНИЕ ИПОТЕЧНОГО КРЕДИТОВАНИЯ

В нашей стране проблема жилья была и остается на долгие годы одной из наиболее актуальных. Лишь небольшой процент населения России имеет собственное жилье ввиду невозможности накопления средств для покупки. Решить эту проблему помогает ипотечное кредитование — вид кредита, выдаваемый под залог приобретаемого имущества. Все больше граждан нашей страны используют данную услугу для решения жилищной проблемы.

Главное преимущество ипотечного кредита — долгосрочность, т.е. получение кредитных средств на долгий срок с возможностью частичного погашения. Этот принцип помогает избежать досрочного накопления большой суммы для покупки недвижимости и получить её в пользование на начальном этапе [2].

Важным звеном регулирования ипотечного кредитования является государство. Именно оно осуществляет законодательный контроль за правильностью оформления ипотечного кредита. Все имеющиеся проблемы, которые прямо или косвенно касаются ипотечного рынка России, лишь подтверждают роль необходимости государственного регулирования в данной сфере. Без осуществления контроля и надзора за деятельностью банковских организаций ипотечный рынок страны развивался бы значительно медленнее. Рынок ипотечного кредитования понемногу оправляется от серьезно повлиявших на него кризисных явлений 2015 года. Снижаются ставки по ипотеке, растет количество кредитоспособных заемщиков. Государство сыграло значительную роль в поддержке ипотечного рынка и устранило возможные глобальные проблемы [1].

Нестабильность экономической ситуации в России порождает риски и неопределенность в управлении различного рода проектами. Поскольку предлагаемые автором мероприятия сопряжены с большими затратами, как финансовыми, так и временными, важной задачей в управлении предлагаемыми программами является выявление и учет факторов риска.

Литература

1. **Каменецкий М.И.** Ипотечное кредитование на рынке жилья / М.И. Каменецкий, Л.В. Донцова, С.М. Печатникова. — М.: Дело и сервис, 2016. — 272 с.
2. **Кириенко А.А.** Ипотека в вопросах и ответах / А.А. Кириенко. — М.: Юстицинформ, 2017. — 592 с.

Г.В. Борисов студ.; рук. В.Н. Колесник, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОРГАНИЗАЦИЯ И ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ В ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И ПРЕДПРИЯТИЯХ

Информационные потоки логистической системы — неотъемлемая часть для обеспечения постоянных материальных движений. Оптимально, если все изменения происходят синхронно. Но на практике часто встречается информирование об оставшейся дистанции до прибытия не соответствует действительности, в связи с этим делаются преждевременные планы или наоборот с запозданиями [I. с. 9].

Целью управления информационными потоками является их организация и оптимизация. Создание системы управления данными в организации происходит поэтапно

Информационная логистика занимается организацией потоков данных, которые сопровождают материальные ценности в процессе их перемещения. Она позволяет связывать снабжение, производство и сбыт. Благодаря этому обеспечивается своевременная доставка товаров в нужном количестве, оговоренной комплектации и необходимого качества при минимальных затратах и оптимальном сервисе. [2, с. 6]

Важность информационной логистической системы прежде всего заключается в том. что на ней базируется подсистема управления организацией соответствующего уровня. И от степени накопления информационной системы, качества и своевременности информации зависит эффективность системы управления в целом

ООО «Фаркастер» качественно оказывает логистическое услуги, но к сожалению. IT технологии и информационные системы отсутствуют, что в дальнейшем может сказаться на успеваемости оказании услуг и учете вы пол ценных работ.

В связи с этим актуальным решением является внедрение информационной системе, которая повысит точность, скорость и безопасность, а также будет обеспечен полный контроль на всех стадиях при перевозках.

Литература

1. **Грекул В.И.. Денишенко Г.Н.. Коровкина Н.Л.** «Проектирование информационных систем». М: Интернет-Ун-т Информ технологий. 2015
2. **Зиньковская Н.В.. Бурова Н.Ф.** Информационные технологии и системы в управлении предприятием. 2011

А.С. Давыдова, студ.; В.А. Епифанов, д.э.п., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЛОГИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТЕМ И ТОВАРНЫЕ ЗАПАСЫ

Логистическое управление предприятием определяется как сквозное управление бизнес-процессами, по продвижению продукции и сопутствующих ему потоков, от источника его возникновения до конечного потребителя с целью достижения максимальной эффективности деятельности предприятия [1].

Логистическое управление предприятием — создание схем, структур, процессов направленных на бесперебойное и экономически целесообразное (с минимальными затратами) взаимодействие всех структур организации. Их эффективное взаимодействие со внешней средой.

Товарный запас — это совокупность товарной массы, которая находится в сфере обращения, предназначенная для продажи [2].Товарные запасы выполняют определенные функции:

- обеспечивают непрерывность расширенного производства и обращения, в процессе которых происходят их систематическое образование и расходования;
- удовлетворяют платежеспособный спрос населения, поскольку являются формой товарного предложения;
- характеризуют соотношения между объемом и структурой спроса и товарного предложения.

Внедрение логистического управления позволяет:

- снизить уровень запасов продукции в снабжении, производстве и сбыте;
- ускорить оборачиваемость вложенного капитала;
- снизить себестоимость производства;
- обеспечить удовлетворение потребностей потребителей.

Запасы — это материальные ценности, ожидающие производственного или личного потребления, а также форма существования материального потока, имеющая место в определенное время и в определенном месте.

Литература

1. **Грибов В.Д.** Экономика предприятия: Учебное пособие. Практикум. — 3-е изд., — М.: Финансы и статистика, 2003.
2. **Миротин. Л. Б., Сергеев. В.И.** Основы логистики: Учеб. Пособие. / Под ред.. — М.: Инфра- М., 2002.
3. **Неруш. А.Ю**. Логистика: учебник для академического бакалавриата / Под ред.. — М.: Юрайт, 2017.

В.С. Емелин, студ.; рук. Е.С. Орлова ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ СТИМУЛИРОВАНИЯ ПРОДАЖИ ТОВАРОВ И ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ООО «АВТОЗАВОД»ГАЗ»)

Стимулирование продаж применяется на протяжении всего жизненного цикла товаров в отношении трех участников рынка (потребителя, оптового продавца, розничного продавца) с целью краткосрочного повышения объема продаж, а также увеличения числа новых покупателей.

Основная цель выпускной квалификационной работы заключается в разработке рекомендаций стимулирования сбыта на примере ООО «Автозавод Газ».

Разработанный комплекс мероприятий направлен на повышение эффективности деятельности ООО «Автозавод Газ» и увеличение объема продажи товаров.

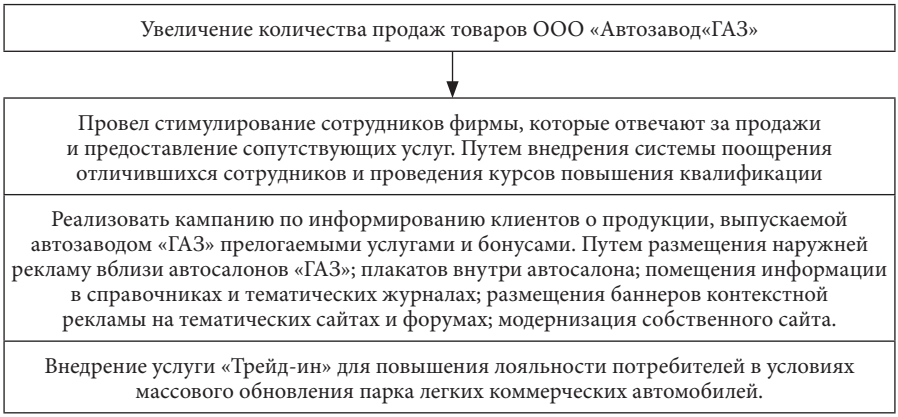


Рис. 1. Увеличение количества продаж товаров ООО «Автозавод»ГАЗ»

Литература

1. **Березина Е.А.** Исследование эффективности организации маркетинга на предприятии. СМАЛЬТА. 2017. №6. С. 18–20.
2. **Дубровин И.А.** Поведение потребителей: учеб, пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2010. 312 с.
3. **Жариков А.В., Горячев Р.А.** Прогнозирование спроса и объема продаж: Учебно-методическое пособие. — Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2017. — 39 с.

О.А. Кургуз, студ.; рук. В.А. Епифанов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ПРЕДПРИЯТИЯ

Главная идея логистики заключается в том, чтобы все стадии производства (добыча сырья, получение материалов, изделий, изготовление конечной продукции), транспортировки и сбыта рассматривать как единый и непрерывный процесс трансформации и движения продукта труда и связанной с ним информации [1, с. 6].

Формирование логистической инфраструктуры предполагает определение количества и местоположения каждого типа подразделений (объектов), нужных для осуществления логистических функций. Инфраструктура образует каркас, на котором строится система логистики и ее работа. [2, с. 10]. Традиционно существует три основных компонента логистической инфраструктуры: склад, транспорт и информация.

Деятельность складов и грузового транспорта взаимосвязаны, как и процессы, проходящие в них, которые представляют собой значительную часть совокупных затрат.

Эффективно организованная работа транспортно-складской инфраструктуры, а также интегрированное взаимодействие между складом и транспортом позволяют оптимизировать логистические издержки. Эти издержки в последствии могут сократить конечную стоимость продукта. Совершенствование управления взаимодействием склада и транспорта создает экономический эффект для хозяйствующего субъекта.

Чтобы оптимизировать затраты на хранение и перевозку необходимо осуществить выбор альтернативных схем снабжения и сбыта. Эти схемы имеют важное значение при принятии решений в области логистического управления, а также управление предприятием в целом.

Для создания альтернативных цепочек поставки на предприятии, необходимо полное взаимодополнение и взаимодействие таких систем как, транспорт и склад. Этот механизм хорошо отслеживается в условиях транспортно-складской инфраструктуры. Вместе эти системы выполняют важные функции обслуживания основных и вспомогательных процессов в сфере производства, снабжения и сбыта.

Литература

1. **Григорьев М.Н., Уваров. С.А.** Логистика: краткий курс лекций / — М: Издательство Юрайт, 2016
2. **Слукина С.А.** Инфраструктура и логистика промышленных предприятий: учебное пособие — Екатеринбург: Изд-во Урал, ун-та 2015

А.В. Наумова, студ., рук. М.Н. Мызникова к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОВАРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ ООО «ПАНДОРА»)

Актуальность данной темы заключается в том, что в компании, взятой, в качестве объекта исследования, доставка товара от продавца к покупателю происходит по большей части сторонними перевозчиками. Это существенно затрудняет отслеживание полной реализации товара со склада, что влечет за собой большие затраты на хранение каждой дополнительной единицы.

Логистика изучает и реализует сквозное управление материальными потоками, следовательно, решать всевозможные задачи распределительного характера необходимо на всех стадиях. Оптимизация понимает под собой определение лучшего соответствия между системой и ее окружением. Оптимизация обязана охватывать абсолютно весь процесс решения логистических задач, в том числе уяснение, непосредственно, самой задачи, выбор системы целей, анализ и синтез систем, а кроме того и выбор лучшей системы [1, с. 17].

Критериями оптимизации распределения товаров являются следующие [14, с. 184]:

Прибыль. Данный критерий предоставляет количественную оценку работы предприятия, которая взаимосвязана со всем комплексом операций товародвижения.

Минимизация расходов обращения и товародвижения.

Возможное направление деятельности с целью повышения прибыли, является осуществимым.

Исследовав предприятие и их проблемы не совсем определены критерии отбора и подписания продления договоров с поставщиками. Не определены оптимальные потоки. Е5 связи с этим была разработана оптимизационная модель в виде транспортной задачи, исходя из решения которой затраты на хранение товара и перевозку снизились на 231352 руб.

В конечном итоге линейная оптимизационная модель актуальна для решения управленческих логистических задач на предприятии.

Список литературы

1. **Неруш Ю.М.** Логистика. — М: Проспект, 2016. — 17 с.
2. **Сергеев В.И.** Задачи оптимизации организационных структур логистических систем. — Саратов: СГТУ, 2017. — 184 с.

А.М. Приходько, студ.; рук. О.В. Колесникова к. э. н., доцент. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТИМУЛИРОВАНИЯ ПРОДАЖ УСЛУГ В КОМПАНИИ ООО «ИНВИТРО»

Под стимулированием продаж понимается всевозможная деятельность компании по распространению данных о достоинствах её услуги или товара и убеждению целевых потребителей приобретать именно их [1].

В качестве основных методов стимулирования продаж для сферы услуг выделяют распространение купонов, применение льготных цен на несколько процедур, сувениры, разные конкурсы. [2J.

С целью стимулирования продаж в рамках исследуемой компании Инвитро предлагается внедрить блоки системы CRM. У Инвитро есть собственная система телефонии, поэтому необходимы такие блоки:

1) В телефонии добавить в качестве приветствия информацию о текущих акциях.

2) На основании полученных аналитических данных осуществлять рассылку на e-mail.

3) Ввести систему лояльности — в размере 2–5% (накопительная скидка — именная).

4) Развитие социальных сетей с использованием таргетинговой рекламы.

Целью внедрения CRM систем выступает (рисунок 18).

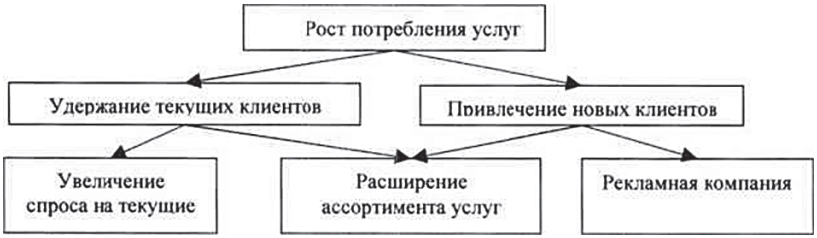


Рис. 1. Методы воздействия на клиентов

Для существующей клиентской базы предлагается ввести систему лояльности и оповещения через смс и email.

На новых клиентов предлагается воздействовать через рекламу в социальных сетях и оповещениями вместо гудков при звонке в клинику.

Литература

1. **Котлер Ф., Гари Армстронг, Вероника Вонг, John Saunders.** Основы маркетинга: отдельное издание: Вильямс 2017 — с. 752
2. **С.А. Рыбченко, Т.В. Евстигнеева,** Методы стимулирования сбыта, учебное пособие 2016 — с. 413

М.О. Птахина, студ., рук. Е.В. Суворова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРСОНАЛЬНЫМ РАЗВИТИЕМ И ДЕЛОВОЙ КАРЬЕРОЙ ПЕРСОНАЛА ПЕРСОНАЛА ОРГАНИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ПАО «МИНБАНК»

Главными аспектами в кадровой политике выступают планирование, развитие карьер и распределение сотрудников в соответствии с возможностями каждого из них. Менеджерам управления персоналом необходимо уделять должное внимание развитию профессиональных навыков сотрудников, их профессиональному росту и устойчивому положению на соответствующих рабочих должностях.

При работе с кадровым резервом в отделе DSA ПАО «МИнБанк» необходимо руководствоваться приоритетами кадровой работы, необходимо принять меры для повышения эффективности кадровой политики и работы с персоналом.

В ПАО «МИнБанк» в отделе DSA был проведен опрос сотрудников, которые уволились из данной организации в 2018 г. В результате мы получили следующие данные: 39% сотрудников не устраивала заработная плата, 21% считают, что не видят перспектив карьерного роста, 20% сотрудников испытывали сложности из-за отсутствия должной помощи в обучении на работе, 11% считают, что у них были сложные отношения с руководителем, а 9% сообщили о том, что их не устраивает график работы.

Мною предлагается использовать для повышения эффективности формирования кадрового резерва в отделе DSA услуги центров оценки и развития кадров кредитных организаций, представляющих собой организационные структуры, объединяющие высококвалифицированных специалистов. Существующие сегодня в отделе формы индивидуальных планов профессионального развития не вполне конкретны и не направлены на развитие конкретных компетенций.

Так же одним из приоритетных направлений развития кадрового резерва отдела будет являться создание института наставничества. Цель наставничества должна быть заявлена следующим образом — оказать практическую помощь в приобретении необходимых профессиональных навыков и опыта работы.

Литература

1. **Кокуева Ж.М.** Управление персоналом: методические указания. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017.

Трукшапова Д.Н., студ., рук. О.В. Колесникова, доц. (НИУ «МЭИ»)

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРСОНАЛЬНЫМ РАЗВИТИЕМ И ДЕЛОВОЙ КАРЬЕРОЙ ПЕРСОНАЛА ОРГАНИЗАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ООО «СТРОЙГРАД»)

Исходя из проведенного анализа теоретических положений было определено, что Карьера является результатом деятельности человека в области своей трудовой сферы, которая основывается на должностном или профессиональном росте. Траекторию своего карьерного движения человек задает сам, учитывая различные особенности внутреннего и внешнего уклада предприятия [2].

Управление карьерой предполагает «взращивание» своих профессиональных кадров в рамках предприятия.

Практическая часть работы проводилась на базе ООО «Стройград». На основе проведенного анализа был сделан вывод, что на предприятии в недостаточной мере уделяется внимание управлению профессиональным и должностным ростом сотрудников. На предприятии нет оценки персонала, проводимой на регулярной основе, а также отсутствует программа планирования карьеры. Персонал не удовлетворен соотношением уровня своей квалификации относительно зарплаты и социальных выплат.

Для устранения имеющихся проблем была предложена Программа по управлению карьерой, включающая в себя ряд мероприятий. В результате внедрения предложенных мероприятий, уже на 1-м году их реализации, ожидается снижение текучести кадров до 7,5%, так как будет устранена основная причина — отсутствие перспектив карьерного роста.

Экономический эффект от реализации предложенных мероприятий отражен в таблице 1.

Табл. 1. Экономический эффект

Наименование	Значение
Затраты на реализацию предложенных мероприятий	1,142 тыс. руб.
Чистый дисконтированный доход	824.1 тыс. руб.
Срок окупаемости	1,11 год

Экономический эффект положительный, а это значит, что внедрение предложенных мероприятий целесообразно.

Литература

1. **Зайцев Г.Г.** Управление деловой карьерой / Г.Г. Зайцев, Г.В. Черкасская. — М.: Академия, 2017.
2. **Самыгин С.И.** Менеджмент персонала: учебное пособие / С.И. Самыгин, Л.Д. Столяренко. — Ростов-на-Дону: Изд-во «Феникс», 2014.

Н.Д. Фатина студ.; рук. М.О. Коробко к.э.н. ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИМИДЖА КРЕДИТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ БАНКОВСКИХ УСЛУГ

На эффективность деятельности кредитных организаций оказывает влияние множество различных факторов, среди которых на первый план по важности сегодня выходит имидж, поскольку он в значительной мере определяет предпочтения клиентов и партнеров, обеспечивает прочность и эффективность деловых связей и, в конце концов, — финансовые показатели деятельности и рыночное благополучие банка. Благодаря успешному имиджу, возможно расширить клиентскую базу, сократить многие риски, обеспечить реализацию корпоративной стратегии, а также компенсировать недостаток надежности банка, создавая иллюзии у клиента.

Имидж банка — это относительно устойчивый образ, представление о нем и о его деятельности среди целевой аудитории, оказывающий постоянное влияние на взаимоотношения банка с его клиентами, его конкурентоспособность, финансовые результаты и контакты с населением; это продукт восприятия банка людьми (персоналом, вкладчиками, заемщиками, обществом). Он вбирает в себя различные параметры объекта, стараясь именно через них продемонстрировать индивидуальность, и формируется через воздействие банка на внешнюю и внутреннюю среду. Целостный имидж банка в общественном сознании складывается за счет восприятия самых разнообразных аспектов — от названия и визуального облика до финансового состояния и применяемых технических средств и технологий [1].

Для создания и совершенствования имиджа кредитные организации чаще всего используют такие инструменты как: корпоративная культура, фирменный стиль, различные средства рекламы, банковский продукт, PR технологии и Интернет-среда. Но самое главное — это предоставление качественных услуг, производство и продажа хорошего банковского продукта, честность в работе с партнерами и сотрудниками [1].

Таким образом, в современной практике создание и совершенствование имиджа кредитной организации является исключительной стратегической необходимостью, напрямую связанной с обеспечением ее эффективного функционирования и развития в отрасли.

Литература

1. **Морган Г.** Имидж организации (восемь моделей организационного развития). — М.: «Вершина», 2018. — 249с

Д.В. Цои, студ.; рук. В.А. Епифанов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МАРКЕТИНГОВАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ

В настоящее время маркетинговая деятельность актуальна, так как маркетинг оказывает большое влияние на общественные потребности и экономическую реакцию общества, направленную на их удовлетворение. Практическая деятельность маркетинга направлена на людей, выступающих в качестве покупателей, продавцов.

В связи с этим важно разрабатывать мероприятия по совершенствованию маркетинговой деятельности предприятий. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть теоретические аспекты, цели и задачи маркетинга в предпринимательской деятельности;
- анализировать маркетинговую деятельность предприятий;
- разрабатывать пути совершенствования маркетинговой деятельности предприятий.

Таким образом маркетинг — это комплекс мер направленный на изучение вопросов, которые связанны с процессом реализации продукции. Это анализ рынка, анализ потребителей, определение сегментов рынка, изучение продвижения товаров, конкурентоспособность предприятия и товара, прогнозирование поведения потребителя, рекламной деятельности.

Кроме того целью маркетинга является, тщательное изучение рынка, отношений, складывающихся между организацией и потребителями ее продукции, конкурентами, поставщиками, посредниками. Также предприятие может активно воздействовать на рынок и существующий спрос для увеличения рыночной доли и повышения рентабельности продаж.

Поэтому принцип маркетинга, заключается в том, что деятельность предприятия, ориентирована на удовлетворение потребителя. Следовательно, любое предприятие должно быть ориентировано на потребителя, а персонал должен понимать, что его работа — направлена на обслуживание потребителей.

Литература

1. **Котлер Ф.** Маркетинг менеджмент. Экс пресс-курс. 2-е изд. / Пер. с англ, под ред. С.Г. Божук. СПб.: Питер, 2016
2. **Беляевский И.К.** МАРКЕТИНГОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ: Учебное пособие, руководство по изучению дисциплины, практикум по курсу, учебная программа Московский государственный университет экономики, статистики и информатики. — М. 2014
3. coffeehouse.ru

К. В Щербакова, студ.; рук. В. А Епифанов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТОВАРНОЙ ПОЛИТИКИ КАК ВАЖНЫЙ ФАКТОР СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СБЫТОВОЙ ПОЛИТИКИ В ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

Товарная политика предприятия — это цепь взаимосвязанных и четко спланированных последовательных действий, которые нацелены на улучшение показателей экономической эффективности организации. Вместо хаотичных и спонтанных решений заранее продумывается каждая возможная ситуация [1, с. 59].

Вопрос эффективного формирования товарной политики является основой деятельности предприятия, источником его доходов, перспективой дальнейшего функционирования и развития.

При формировании товарной политики необходимо последовательно пройти ряд этапов:

1. Проведение портфельного и конкурентного анализов с целью принятия обоснованного решения о дальнейшем развитии портфеля.

2. Формирование оптимальной маркетинговой стратегии, включая определение варианта охвата рынка и его сегментации, формирование комплекса маркетинга по этапам жизненного цикла товаров (ЖЦТ).

3. Модернизация ассортиментных комплексов фирмы путем принятия решения о выборе уникального торгового предложения, позволяющего одновременно получить коммерческую выгоду при сохранении или даже повышении уровня удовлетворенности потребителей [2, с. 9].

Рекомендуется оптимизировать ассортимент товаров в ООО «Леруа Мерлен Восток» за счет внедрения нового востребованного ассортимента продукции и сокращения не востребованных товаров.

Предложенное мероприятие характеризуется высоким уровнем доходности (IRR — 41%), превышает ставку дисконтирования 14,75%, при этом в случае его реализации чистый приведенный доход составит 54,5 тыс. руб.

Литература

1. **Финансовый маркетинг: теория и практика**: учебник для магистров / О.А. Артемьева [и др.]; под общ. ред. С.В. Карповой. — М.: Издательство Юрайт, 2015.
2. **Ситжановой Акжан Мурзагуловны** «Маркетинговые аспекты формирования ассортиментной политики мясоперерабатывающих предприятий», автореферат, Оренбург 2011

А.Е. Яковлева, студ.; рук. М.А. Булатенко, к.э.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ТРУДА РАБОТНИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Исходя из проведенного анализа теоретических положении можно сделать вывод, что результативность труда работников — отношение результата деятельности организации к затратам трудовых ресурсов. Максимальная эффективность достигается за счет получения максимального эффекта при минимальных затратах трудовых ресурсов [1].

Практическая часть работы проводилась на базе ООО «Магнитные системы». На основе проведенного анализа следует, что на исследуемом предприятии требуют доработки такие элементы кадровой работы как меры по адаптации на предприятии, уровень дисциплины на предприятии, режим работы, организация труда, перспектива профессионального роста, перспектива должностного роста, повышения результативности груда работников был предложен с мероприятий, соответствующий выявленным проблемам, Эффективность данной работы должна основываться на применении наставничества при адаптации новых работников, совершенствовании мер организационного характера и реализация проекта «История карьерного ООО «Магнитные системы»»

Экономический эффект отражен в табл. I.

Табл. I

Наименование	Значение
Затраты на реализацию предложенных мероприятий	120000 р.
Прирост производительности труда	2.67%
Отчет годовой экономии на затратах на персонал	523224 руб.
Экономический эффект	403224 руб.

Все рассчитанные данные свидетельствуют, что при внедрении мероприятий предприятие сможет повысить результативности труда работш ков и увеличить получаемую прибыль на 403 тыс. руб.

Литература

1. Аширов Д.А. Управление персоналом / Д.А. Аширов. — М.: ГК Велби, г. 2017.
2. Базаров Т. К). Управление персоналом /Т.Ю. Базаров. — М.: Академия. 2017.

М.А. Ковальчук, студ.; рук. И.Л. Русаков (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ

Современные подходы к управлению качеством, сложившиеся в последнее десятилетие в России, получили новое развитие в связи с реализацией национальных проектов, сформулированных в Указе Президента РФ от 07.05.2018 г. №204 [1].

Ключевыми задачами деятельности Правительства РФ по реализации национальных проектов является удовлетворение возрастающего спроса стратегически важных отраслей в высококвалифицированных кадрах на постоянной основе, а также вхождение России в десятку ведущих стран мира по качеству общего образования, расширение присутствия российских университетов в топ-500 глобальных рейтингов университетов.

В настоящее время в России продолжается дальнейшее развитие подходов, методов и инструментов менеджмента качества. Так по данным Международной организации стандартизации (ИСО) за 2018 год число сертификатов соответствия систем менеджмента стандарту ИСО 9001–2015 составило 4500, что на 30% больше чем в 2017 году. Из них 113 выдано образовательным организациям. Следующим шагом в развитии международных стандартов стало опубликование и введение в действие стандарта ISO 21001:2018 «Образовательные организации — Системы менеджмента для образовательных организаций — Требования и руководство по использованию». И это первый в своем роде международный стандарт на системы менеджмента для образовательных организаций.

Одновременно с этим для оценки качества реализуемых управленческих подходов и достигнутых результатов организации участвуют в ежегодном конкурсе на соискание премии Правительства РФ в области качества, оценочные критерии которого гармонизированы с моделью совершенства EFQM [2].

За период 2015–2018 год наблюдается значительный рост числа организаций-участников конкурса — с 42 организаций в 2015 году до 300 организаций в 2019 году, что свидетельствует о росте престижа премии.

Среди лауреатов конкурса есть Национальные исследовательские университеты (НИУ): НИТУ «МИСиС», ТПУ (входят также в проект 5–100) и НИУ «МЭИ».

Литература

1. Указ Президента РФ от 07.05.2018 №204 «О национальных целях и стратегических задачах развития РФ на период до 2024 года».
2. https://roskachestvo.gov.ru/award/files/Rykovodstvo_for_comp_02092019. pdf

А.Е. Смирнова, студ; рук. Н.Ф. Солдатова, к.э.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ МАРКЕТИНГА НА ПРЕДПРИЯТИИ (НА ПРИМЕРЕ ООО «ПРОФСТРОЙ»)

По определению Ф. Котлера: «Маркетинг — вид человеческой деятельности, направленной на удовлетворение нужд и потребностей посредством обмена» [1].

Маркетинговые службы имеют два уровня управления — это центральные маркетинговые управления и оперативные отделы (секторы).

Структуры маркетинговых служб в своем развитии преодолели достаточно длительный путь. Многие изменения закономерны и продиктованы техническим прогрессом и спросом со стороны общества. В связи с развитием экономики, расширением масштабов производства, увеличением спроса и запросов со стороны потребителей, а также под влиянием конкуренции менялась маркетинговая организационная структура предприятия. Развитию и совершенствованию маркетинговых служб способствовал также поиск и разработка нетрадиционных подходов к управлению организациями в условиях рынка и др.

Эффективность работы службы маркетинга определяется следующими аспектами:

- потенциалом организации службы маркетинга;
- эффективностью ее функционирования (использования потенциала).

Эффективность функционирования службы маркетинга характеризуется уровнем использования с точки зрения конечных результатов деятельности организации возможностей (потенциала), заложенных в ней.

Для оценки эффективности деятельности маркетинговых служб применяют также балльные методы оценки, при которых эффективность «вычленяют» по каждому мероприятию на соблюдение перечня критериев соответствия структур и процессов концепции маркетинга с выставлением определенных баллов по каждому критерию.

Таким образом, одной из главных задач руководителя любого предприятия является оценка эффективности деятельности службы маркетинга. При существующем в современных условиях многообразии товаров и услуг маркетинговые службы являются необходимым звеном в проведении маркетинговой политики организации. Сегодня маркетинговые подразделения становятся основой разработки производственной стратегии и осуществление тактики проводимой фирмой в отношении продвижении своих товаров и услуг.

Литература

1. **Котлер Ф.** Основы маркетинга. М.: ВИЛЬЯМС, 2018. — 132 с.

Малая Е.И., студ., рук. Суворова Е.В., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ АДМИНИСТРАЦИИ СУЗДАЛЬСКОГО РАЙОНА

Отличительной чертой современного развития организаций в РФ является постоянно развивающаяся среда, которая становится источником новых возможностей и угроз, что сокращает эффективность управленческой деятельности. Для эффективного функционирования организаций очень важно иметь рационально построенную организационную структуру управления.

Организационная структура управления — это совокупность подсистем и элементов системы, каждая из которых осуществляет конкретную функцию управления муниципальным образованием [1].

В рамках исследования, был проведен анализ показателей функционирования организационной структуры администрации Суздальского района, где было выявлено, что существующая организационная структура содержит избыточное количество звеньев, а число подчиненных главы администрации превысило норму (рис. 1).

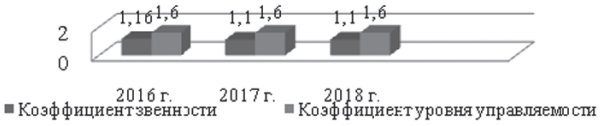


Рис. 1. Показатели, характеризующие рациональность организационной структуры

На основе изучения показателей, выражающих результаты деятельности администрации Суздальского района была выявлена еще одна проблема, такая как сокращение эффективности организационной структуры по расходам на функционирование из-за повышения затрат на функционирование администрации.

На основании недостатков предлагаются следующие рекомендации: объединить отдел бухгалтерского учета и отчетности и финансовое управление; передать IT-технологии на аутсорсинг; ввести в организационную структуру новые должности.

Таким образом, введение предложенных мероприятий приведет к положительному эффекту, к более точному и результативному функционированию организационной структуры, а также экономия бюджетных средств от создания общей бухгалтерии и внедрения аутсорсинга составит 1%, то есть на 1,3 млн. рублей.

Литература

1. **Гапоненко А.Л.** Теория управления: Учебник для бакалавров / А.Л. Гопоненко, М.В. Савельева. — М.: Юрайт, 2015. — 342 с.

В.А. Рыбакова, студ.; рук. Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СЛУЖАЩИХ (НА ПРИМЕРЕ КОМИТЕТА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ДУМЫ ПО ОБРАЗОВАНИЮ И НАУКЕ)

Современный мир характеризуется стремительными переменами социально-экономических условий, которые предопределяют новые цели и задачи для государственных органов власти. Для осуществления качественного и эффективного государственного управления крайне необходимо, чтобы труд государственных служащих и методы его осуществления шли в ногу со временем и отвечали соответствующим требованиям государственной службы. Именно поэтому так важно предупредить несоответствие и неэффективность оценки их профессиональной деятельности [1].

На основе документа «Методический инструментарий по внедрению системы комплексной оценки профессиональной служебной деятельности государственных служащих» (учрежден в 2013 году и актуален по сей день), были поставлены и решены следующие задачи работы: проведен анализ каждого этапа службы сотрудника и степени его результативности; выявлены несоответствия в осуществлении деятельности государственных служащих относительно плановых показателей; разработаны соответствующие рекомендации, направленные на повышение эффективности и оптимизацию функционирования комитета Государственной Думы по образованию и науке [2].

В качестве основного мероприятия было предложено внедрение автоматизированной системы индивидуального планирования. Главный ожидаемый результат — положительная динамика профессионального развития каждого служащего и увеличение эффективности его труда, что достигается за счет использования модулей системы: планирование, управление, отчетность, позволяющих максимально приблизить индивидуальные показатели сотрудника к требуемым плановым величинам.

Литература

1. **Д.А. Андреева** Оценка эффективности деятельности государственных гражданских служащих: автореф. дисс. канд. экон. наук. СПб, 2017. 19 с.
2. Методический инструментарий по внедрению системы комплексной оценки профессиональной служебной деятельности государственных гражданских служащих (включая общественную оценку). 2018 [Электронный ресурс] // URL: https://rosmintrud.ru/programms/gossluzhba/16/4/0 (дата обращения 05.12.2018).

Н.С. Мартынов, студ.; рук. К.А. Епифанов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ПО ВНЕДРЕНИЮ МОДЕЛИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МЕНЕДЖМЕНТА ПРЕДПРИЯТИЯ

В настоящее время наибольший интерес представляет разработка проектов по внедрению моделей повышения качества менеджмента предприятий. Для реализации этих проектов важна информация о контрагентах в соответствующей информационной системе [1].

Анализ показывает, что сегодня современный модуль API «Фокус» автоматизирует поиск, оценку, заведение в базу предприятия новых контрагентов и отслеживает изменения по текущим. Это помогает избежать ошибок в реквизитах и оплаты ненадежным поставщикам, а также исключить длительные ручные проверки и отчеты по контрагентам.

Внедрение предлагаемой модели включает автоматический контроль новых и текущих контрагентов по разным источникам для получения сведений о критических факторах, что влияет на оперативную оценку финансовых и налоговых рисков контрагента.

API «Фокус» позволяет проводить массовую проверку и мониторинг изменений по всей базе, либо по выделенной группе контрагентов, а также вовремя реагировать на существенные изменения у клиентов и партнеров и снижает риск невозврата финансовых средств.

Особо следует отметить необходимость регистрации нового контрагента в учетной системе. API «Фокус» позволяет указав лишь ИНН контрагента автоматически подставлять оставшиеся данные из ЕГРЮЛ, ЕГРИП, Росреестра, реестра госконтрактов и других источников.

В целом API «Фокус» решает ряд следующих задач:

- поддержание реквизитов в актуальном состоянии;
- обеспечение корректной работы с контрагентами из филиалов и дочерних предприятий;
- оперативное получение информации и аналитики;
- снижение затрат на работу с базой данных

Предлагаемое интеграционное решение подходит таким отраслям, как банки, торговля и производство.

Литература

1. **Епифанов В.Д., Кочетков В.В. и др**. Основы общего менеджмента и тенденции его развития на современном этапе. Методологические и организационно-правовые основы менеджмента. М.: РПК Карт Бланш Технолоджи, 2017.

Е.О. Бочарова, студент; рук. Е.С. Орлова, ассистент (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОТИВАЦИЕЙ РАБОТНИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Актуальность выбранной темы заключается в том, что цель любого предпринимателя и руководителя — успех на рынке, получение хорошей прибыли, а работника — получение максимального материального вознаграждения и удовлетворение своих потребностей. Найти компромисс между ожиданиями работника и предпринимателя — суть стимулирования работников в рыночной экономике [1,2]. При исследовании существующей обстановки (путем проведения опроса и анализа финансовых отчетов) на примере предприятия АО «РЭУ» был выявлен ряд проблем в отсутствии заинтересованности сотрудников в саморазвитии и работы на результат.

Эффективными методами совершенствования кадрового потенциала в организации является найм специалиста в отдел кадров и проведение ежеквартального конкурса на звание «Лучший работник Компании» с денежным поощрением. Важнейшими задачами конкурса будут являться: выявление и поддержка высокого профессионального уровня кадров, воспитание на их примере молодых специалистов и формирование общественного мнения о престижности работы.

При оценке экономической эффективности от найма специалиста в отдел кадров стоит отметить, что основным экономическим показателем, является производительность персонала на протяжении всего производственного цикла. Увеличение производительности труда сотрудников в периоды повышения емкости спроса при имеющимся технологическом процессе приведет к увеличению объемов производства и реализации. Реализация предложенных мероприятий приведет к увеличению выручки компании на 5%, при этом производительность труда возрастет на 8% по отношению к предыдущему периоду. Предложенные мероприятия не являются затратными, в результате их внедрения себестоимость продукции, работ и услуг увеличится на 0,3%.

Из этого следует, что реализация вышеперечисленных мероприятий существенно облегчит осуществление поставленных задач предприятия в достижении максимальной прибыли и удовлетворит потребности сотрудников в достойной оплате труда.

Литература

1. **Бухалков М.И. У**правление персоналом: Развитие трудового потенциала / М.И. Бухалков — М.: НИЦ Инфра-М, 2013 — 192 с.
2. **Дейнека А.В., Беспалько В.А.** Управление человеческими ресурсами / А.В. Дейнека, В.А. Беспалько. — М.: Дашков и К, 2013. — 389 с.

А.Г. Привалов, студ.; Рук.М. Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЗАИМООТНОШЕНИЯМИ С КОРПОРАТИВНЫМИ КЛИЕНТАМИ (НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИИ ООО «СЕРКОНС»)

Каждой современной компании для завоевания конкурентного преимущества на рынке необходимо увеличивать приток клиентов. На помощь приходит CRM-система, которая улучшает качество сервиса, помогает планировать задачи и контролировать их выполнение. Вести учет клиентов, хранить документацию и автоматизировать ее создание, и многое другое. Это помогает увеличить приток новых клиентов и не потерять старых [1].

CRM — это «фундаментальная бизнес-стратегия», которая ставит своей целью «создание и доставку целевой группе клиентов определённой ценности для получения прибыли» [2].

В рассматриваемой нами компании ООО «Серконс» был изучен процесс взаимоотношений с корпоративными клиентами и выявлены проблемы, которые мешают качественному процессу работ. Влекут потери времени и прибыли.

Теряется много времени на набор номера и электронной почты, из-за того, что не подключен отдел экспертов к программе. Приходится дублировать информацию по почте экспертам. После получения обратной информации от экспертов, необходимо дублировать информацию в CRM — системе. Контроль за неоплаченными счетами, также является проблемой, т.к. этот процесс замедляет работу менеджеров. Менеджерам приходится постоянно контролировать оплаты и обзванивать клиентов. Нет возможности удалённо выполнить работу, вне офиса. Высокие цены, отсуствие полного пакета документов, влечет отток клиентов в сторонние организации. Экспертиза затянута во времени.

Внедрив изменения в CRM — систему с помощью смены программного обеспечения с программы Terrasoft на ELMA, можно будет решить управлеческие задачи и получить больше прибыли.

Литература

1. **Акулич, М.** Управление взаимоотношениями с клиентами (CRM) — М.: Издательские решения, 2019. — 102 с.
1. **Гринберг, П.** CRM со скоростью света = CRM at the speed of light — СПб.: Символ Плюс, 2013. — 528 с.

Т.А. Шилова, студ.; рук. М.О. Коробко к.э.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВОЙ КОМПАНИИ

В настоящее время в условиях рынка невозможно добиться стабильного успеха в предпринимательстве, если не оценивать место конкурентов на нем и не проводить анализ конкурентоспособности своей компании.

Конкурентоспособность торговой компании — это способность компании конкурировать на рынках с аналогичными компаниями посредством обеспечения более высокого качества, доступных цен, создания удобств для покупателей и потребителей [2].

Высокая конкурентоспособность компании является гарантом получения высокой прибыли в рыночных условиях. При этом компания имеет цель достичь такого уровня конкурентоспособности, который помогал бы ей выживать на достаточно долговременном временном отрезке.

Чтобы обеспечить достойное (лидирующее) положение компании на рынке, важной стратегической задачей становится опережение конкурентов в разработке и освоении новых товаров, новой технологии, нового дизайна, нового уровня издержек производства, новых цен, нововведений в системе распределения и сбыта. Тем самым достигается сразу несколько параметров конкурентного преимущества. [1]

Конкурентные преимущества торговой компании подразделяют на первостепенные (качество товара; ассортимент; цена; местоположение магазина) и второстепенные (выкладка товара; квалификация и доброжелательность персонала; наличие дополнительных услуг; атмосфера в магазине; раздача рекламных и информационных проспектов; организация специальных промо-мероприятий; предоставление дисконтных/бонусных карт; периодическое извещение покупателей о поступлении новых коллекций и организация специальных мероприятий).

Конкурентные преимущества являются одним из самых существенных факторов в конкурентной борьбе фирмы на рынке. Если фирма не будет поддерживать свои конкурентные преимущества — она окажется за бортом современного бизнеса. Чем они устойчивее — тем устойчивее и сама фирма в выбранной ей сфере.

Литература

1. **Азоев Г.Л., Челенков А.П.** Конкурентные преимущества фирмы. — М.: НОВОСТИ, 2018. — 256с.
2. **Васильева А.В.** Методики оценки конкурентоспособности предприятия: Учебно-методическое пособие / А.В. Васильева. — Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2018. –114 с.

Е.И. Афанасьева, студ.; рук. М.В. Патуроев к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

МОТИВАЦИЯ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ГРАЖДАНСКИХ СЛУЖАЩИХ СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ МИНОБРНАУКИ РОССИИ)

Необходимость внедрения эффективной системы мотивации государственных служащих, обусловлена тем что Россия сегодня входит в число стран, имеющих низкий уровень эффективности государственного управления, человеческого потенциала в целом, а также качества предоставляемых услуг.

Мотивация— это наличие причинно-следственной связи между какими-либо действиями, явлениями, поступками. Правильно разработанная система мотивации государственных гражданских служащих является одним из методов повышения эффективности их деятельности [1].

В работе был проведен анализ системы мотивации госслужащих Минобрнауки России. Среди наиболее заметных проблем, препятствующих продуктивной работе госслужащих в Министерстве науки и высшего образования, можно отнести: денежное содержание состоит из нескольких частей, непрозрачно. Недостаточность применения нематериальных методов стимулирования; оплата труда не зависит от фактических результатов; отсутствие механизма должностного роста; возложение дополнительных функциональных обязанностей, сверхурочные нагрузки.

В связи с этим автором было предложено ввести механизм эффективного контракта в Минобрнауки России. Такой контракт сможет посодействовать росту трудового потенциала каждого сотрудника учреждения, поможет установить актуальные квалификационные требования для госслужащих, разработав профессиональные стандарты на основании требований к качеству услуг, оказываемым сотрудниками учреждения [2].

Литература

1. **Лобанова, Т.Н.** Мотивация и стимулирование трудовой деятельности: учебник и практикум для академического бакалавриата / Т.Н. Лобанова. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 482 с.
2. **Бекмурзиева Х.М.** Мотивация деятельности государственных гражданских служащих как средство повышения эффективности государственной гражданской службы // Управление. 2018. №4 (22).

А.И. Белова., студ., рук. М.В. Патуроев, к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА УПРАЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ НА ПРЕДПРИЯТИИ В ООО «ПЕТРОШИНА»

Управление персоналом — целенаправленная деятельность руководящего состава организации, а также руководителей и специалистов подразделений системы управления персоналом, которая включает разработку концепции и стратегии кадровой политики и методов управления персоналом. Система управления персоналом, включающая деятельность по работе с персоналом, предполагает формирование целей, функций, организационной структуры управления персоналом, вертикальных и горизонтальных функциональных взаимосвязей руководителей и специалистов, процедуры принятия и реализации управленческих решений.

Основной профиль деятельности компании — продажа и обслуживание шин для грузовых и лег-когрузовых автомобиле. За 20 лет компания открыла более 20 сервисных центров по всей России, в каждом из которых компания предоставляет шиномонтажные услуги. Проведя анализ показателей движения персонала отмечается увеличение коэффициентов, как по приему, так и по увольнению, что свидетельствует об увеличении интенсивности движения персонала. Чем больше движение персонала, тем больше предприятие затрачивает ресурсов на обучение новых сотрудников.

По результатам работы получен вывод, что в настоящее время в ООО «Петрошина» оплата труда не является эффективной так как, все работники получают ограниченный штатным расписанием оклад плюс премии и материальную помощь. Главная проблема, которая существует в ООО «Петро-шина» — это ограниченный бюджет ФОТ, следовательно, организации предлагается внедрение системы грейдов, так как принципы грейдинга успешно можно использовать и для премирования, назначения льгот и разработке других систем стимулирования. Согласно произведенным расчетам экономическая эффективность составит 409660 руб., из чего следует, что предложенные мероприятия являются экономически обоснованными.

Литература

1. **Исаева, О.М.** Управление персоналом: учебное пособие / Исаева О.М. — М.: Юрайт, 2016. — 246
2. **Роенко, Н.О.** Совершенствование системы деловой оценки персонала в торговой организации / Н.О. Роенко // Молодой ученый. — 2016. — №10. — С. 838–845.

577

Направление

ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА ПРЕДПРИЯТИЙ

Директор ИЭВТ, к.т.н., доцент С.В. Захаров

Секция 32.
ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Председатель секции — Цырук Сергей Александрович
Секретарь секции — Алексеенкова Галина Сергеевна

Д.В. Пличенко, студ.; рук. Е.М. Табачный, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В условиях предполагаемого расширения рынка и внедрения направлений «Цифровая энергетика» (реализация распоряжения Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. №1632-р «Цифровая экономика Российской Федерации») практически первоочередной задачей является оптимизация закупок электрооборудования и комплектующих, повышение прозрачности схем финансирования производителей, внедрение инновационных систем обеспечения оперативного контроля (цифрового управления) полного цикла, начиная от закупки и заканчивая монтажом оборудования на конечном объекте строительства.

Несмотря на огромный объем научных трудов рассмотрения проблем цифровизации в отдельности, в настоящее время отсутствует методика определения приоритетных направлений цифровизации, разработка практических рекомендаций по цифровизации предприятий в сфере энергетики, внедрению цифровых технологий, обеспечивающих рост конкурентоспособности, производительности. В настоящей работе разработана методика определения приоритетности направлений цифровизации, которая в отличие от ранее примененных подходов, позволяет получить объективную оценку при достаточно простом и обоснованном алгоритме ее поведения. На рис. 1 построение диаграммы Парето и проведение ABC-анализа, сущность которого заключается в разделении всех направлений на три группы, имеющих три уровня важности рекомендуемых к внедрению технологий.

Рис. 1. Построение диаграммы Парето. ABC анализ.

Методика определения приоритетности цифровизации бизнес-процессов на предприятиях электроэнергетики универсальна.

Литература

1. **Азгальдов Г.Г.** Общие сведения о методологии квалиметрии // Стандарты и качество. — 1994. — №11.

Д.Ю. Платонов, студ.; рук. В.П. Степанов, д.т.н., проф. (СамГТУ, Самара)

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КРАНОВ РЕЧНЫХ ПОРТОВ

Причиной возникновения дополнительных расчетных потерь электроэнергии является использование в качестве исходной информации ступенчатых графиков нагрузки вместо исходных графиков [1]. Уточнение расчетных потерь электроэнергии достигается за счет учета неравномерности, характеризуемой коэффициентом формы, и вероятностного характера исходных графиков нагрузки на ступеньках. Для этого исходные графики электрической нагрузки речных кранов представляются вероятностной моделью в виде случайного, стационарного марковского процесса с экспоненциально-косинусно-синусной корреляционной функцией, определяющей вероятностную взаимосвязь между ординатами исходных графиков [2]. Для аналитического выражения по восстановлению коэффициентов формы исходных графиков используется метод вероятностного моделирования [3]. Выражение связывает дисперсии исходных и ступенчатых графиков электрической нагрузки через корреляционную функцию, определяющей вероятностную взаимосвязь между ординатами исходных графиков. Параметры корреляционной функции получены в экспериментах и охватывают речные краны грузоподъемностью от 3 до 16 тонн при работе с навалочным грузом. Показано, что область восстановленных коэффициентов формы исходных графиков находится в границах: нижняя — от 1.21 до 1.28, а верхняя от 1.48 до 1.63. Дополнительное увеличение расчетных потерь электроэнергии находится в диапазоне от 10 до 46%. Результаты работы могут быть использованы для совершенствования методики расчета потерь электроэнергии в системах электроснабжения кранов речных портов.

Литература

1. **Гордеев В. И.** Регулирование максимума нагрузки промышленных электрических сетей. М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. **Шошмин Б.А.** Исследование особенностей электрических нагрузок и разработка методов их расчета для портальных кранов речных портов: диссертация… кандидата технических наук: 05.09.03. — Ленинград, 1974.
3. **Волобринский С.Д., Каялов Г.М., Клейн П.Н., Мешель Б.С.** Электрические нагрузки промышленных предприятий. Л.: Энергия, 1971.

Н.В. Колесников, студ.; рук. Д.И. Борисенко к.т.н.
(НИУ «МЭИ»), А.О. Валуйских (ООО АСУ-ВЭИ)

ВОЗМОЖНОСТЬ ДИАГНОСТИКИ ОХЛАЖДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПО РЕГИСТРАЦИИ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Для передачи электроэнергии на большие расстояния используют промышленные трансформаторы. Для продления срока службы и увеличения КПД необходима полная диагностика трансформатора, но из-за конструктивных особенностей нельзя измерить напрямую температуру охлаждающей жидкости, которая находится внутри трансформатора. Основной задачей данной работы является комбинированное измерение параметров, недоступных для прямого контроля.

Решением данной задачи является изучение возможности диагностики охлаждения промышленных трансформаторов [1] по регистрации акустического излучения, генерируемого движением жидкости внутри трансформатора.

Тепловое воздействие со стороны обмоток трансформатора вызывает локальное изменение плотности охлаждающей жидкости [2], из-за чего она приходит в движение. Более прогретые — менее плотные — слои жидкости всплывают в менее нагретом окружении. В свою очередь непосредственно на твёрдых вертикальных поверхностях, вдоль которых и осуществляется подъёмное движение жидкости, из-за вязкости образуется пограничный слой, препятствующий течению теплоносителя. Толщина этого слоя увеличивается с высотой, но бесконечно она расти не может — время от времени происходит срыв фрагментов этого слоя. А все процессы, связанные со взаимодействием объектов различной плотности в сплошной среде, сопровождаются акустическим излучением. Регистрируя это излучение, мы можем восстановить гидродинамическую картину внутри корпуса трансформатора, а по ней, зная свойства и геометрические характеристики внутренностей трансформатора, можно рассчитать пространственно-временное распределение температуры.

Таким образом, предложенный в настоящей работе подход не противоречит имеющимся научным представлениям, опирается на известные законы теплообмена и подразумевает применение стандартной (проверенной) элементной базы. Наш коллектив намерен развить этот подход в промышленную технологию. Все заинтересованные лица приглашаются к сотрудничеству.

Литература

1. **Н.А. Кулдин.** Трансформаторы: Учеб. пособие / Н.А. Кулдин; ПетрГУ — Петрозаводск, 2011. — 38 с.
2. **А.В. Лыков.** Тепломассообмен 2-е изд., перераб. И доп. М.: Энергия, 1978. — 480 с.

А.М. Кузнецова, асп.; рук. М.Е. Вихров, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСЧЁТА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ПОСТОЯННОМ И ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

Помимо традиционно сложившихся областей применения постоянного тока, в последнее время возникают и новые высокотехнологичные направления. Но существующая на данный момент система знаний об этом роде тока не позволяет этой сфере развиваться в полную силу. С целью выявления эвентуальных преимуществ, которыми может обладать постоянный ток, был произведён расчёт системы электроснабжения заданного объекта.

В качестве объекта проектирования и сравнения была выбрана электрическая часть инфраструктуры дата-центра, так как входящее в её состав оборудование в своей основной массе представлено компонентами электронной техники и питается выпрямленным током, поэтому исключение дополнительного преобразующего звена может привести к положительному экономическому эффекту и повышению энергоэффективности.

Вычисления производились с использованием методик проектирования низковольтных сетей, а именно: методик расчёта освещения, электрических нагрузок, токов короткого замыкания; выбора и проверки сечений жил проводников и защитно-коммутационной аппаратуры [1]. В качестве одного из основополагающих условий объективного сравнения было установлено стремление к унификации силового и защитно-коммутационного оборудования и кабельной продукции, применяемых при проектировании систем электроснабжения исследуемого объекта на переменном и постоянном токе.

В результате были спроектированы два варианта системы электроснабжения, глобально отличающиеся наличием дополнительного элемента — выпрямительного агрегата, в сети постоянного тока. Невзирая на вышеупомянутый факт, с экономической точки зрения, реализация системы постоянного тока не является бесперспективным предприятием, так как дороже реализации системы переменного тока в процентном отношении всего на 0,36. При этом потери мощности в сети постоянного тока по расчёту оказались на 17% ниже, поэтому можно сказать, что, например, в случае перевода системы электроснабжения с переменного на постоянный ток срок окупаемости для данного объекта составил бы 2,12 года.

Резюмируя, стоит сказать, что постоянный ток является перспективным направлением развития электроэнергетики, и это подтверждается заинтересованностью специалистов ведущих сфер производства и промышленности в его использовании в своих областях (например, в дата-центрах).

Литература

1. **Беляев А.В.** Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. Л.: Энергоатомиздат, 1988.

Н.А. Чаденков студ.; рук. Н.В. Безменова, к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)

УЧЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ПРИ ОЦЕНКЕ РАСЧЕТНЫХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Электрические сети, питающие дуговые сталеплавильные печи, представляют собой участки сети, для которых рекомендуется производить отдельные расчеты потерь электроэнергии, как на участках с повышенными расчетными погрешностями [1]. На практике оценка расчетных потерь электроэнергии производятся не по исходным, а по ступенчатым графикам электрической нагрузки [1]. Однако графики на ступеньках в период расплавления имеют случайный и резкопеременный характер с коэффициентом формы больше 1,1. Уточнение достигается использованием дополнительной информации о графиках электрической нагрузки, а именно, о виде и параметрах корреляционной функции и касается дисперсионной составляющей расчетных потерь электроэнергии. Уточнение обеспечивается методом вероятностного моделирования, где в качестве модели для графиков нагрузки на ступеньках используется случайный, стационарный марковский процесс с экспоненциально-косинусной корреляционной функцией [2–3]. Параметры корреляционной функции получены экспериментально и охватывают печи ДСП-20, ДСП-100, ДСП-200, ступенчатые графики которых имеют коэффициент формы, находящиеся в диапазоне от 1,2 до 1,45. Показано, что область коэффициентов формы исходных графиков, например, для ДСП-20, находится в границах: нижняя — 1,22 до 1,36; а верхняя — 1,49 до 1,8. При этом дополнительные увеличении дисперсионной составляющей расчетных потерь электроэнергии находится в диапазоне от 2,93% до 32,7%. Результаты работы могут быть использованы для совершенствования методики расчета потерь электроэнергии в системах электроснабжения дуговых сталеплавильных печей.

Литература

1. **Железко Ю.С., Артемьева А.В., Савченко О.В.** Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: руководство для практических расчетов. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.
2. **Волобринский С.Д., Каялов Г.М., Клейн П.Н., Мешель Б.С.** Электрические нагрузки промышленных предприятий. Л.: Энергия, 1971.
3. **Рыжнев Ю.Л., Минеев Р.В., Михеев А.П., Смелянский М.Я.**; под ред. Смелянского М.Я., Минеева Р.В. Влияние дуговых электропечей на системы электроснабжения. М.: Энергия, 1975.

А.Е. Тамаровский, асп., Н.М. Максимова, студ.;
рук. М.Е. Вихров, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

ВАРИАНТЫ КЛАССИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ

В настоящий момент источники бесперебойного питания (ИБП) разделяются на два вида: статические [1] и динамические. В западных странах распространена классификация, в которой идентификация происходи по составу преобразовательной установки. Согласно «западной» классификации статическими ИБП считаются электроустановки, в состав которых входит блок выпрямитель-инвертор. В свою очередь динамическими ИБП называются электроустановки, у которых в дополнение или вместо выпрямителя-инвертора установлена мотор-генераторная установка.

В другом варианте классификации тип ИБП определяется по наличию накопителя, запасающего кинетическую энергию, статическим ИБП называются электроустановки с использованием аккумуляторных батарей. Динамическим ИБП считаются электроустановки, в которой накопление электроэнергии происходит в маховике в виде кинетической энергии.

Как отдельная электроустановка мотор-генератор не запасает энергию ни в каком виде, а только преобразует ее, выполняя роль фильтра высших гармоник. Наличие или отсутствие мотор-генератора в составе ИБП никак не влияет на время автономной работы, продолжительности зарядки батарей или накопителя. Напротив, наличие кинетического накопителя — маховика в составе ИБП должно обозначаться, поскольку от вида накопителя напрямую зависят ключевые параметры ИБП. С этой точки зрения второй вариант классификации информативнее, поскольку приставка «динамический» сразу говорит о способе накопления энергии.

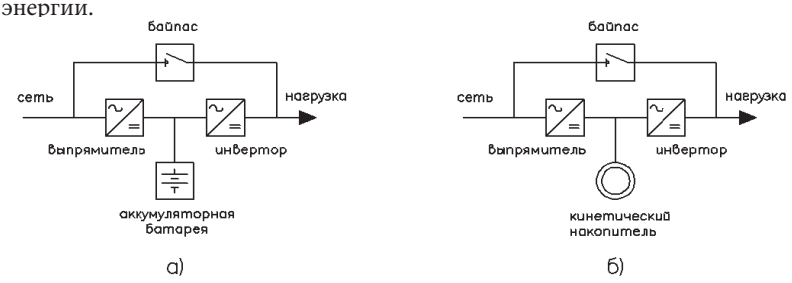


Рис. 1. Структурные схемы ИБП по второй классификации:
а — статический, б — динамический.

Литература

1. ГОСТ IEC 62040-1-2018 Системы бесперебойного энергоснабжения (UPS). Часть 1. Общие положения и требования безопасности к UPS.

Д.В. Смирнов, Д.Ю. Соловьёв, студенты;
рук. М.А. Рашевская, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПРОВОДА

В настоящее время в электротехнике и энергетике устойчивые позиции заняла тенденция применения необслуживаемого оборудования. Современные электродвигатели зарубежного и отечественного производства зачастую комплектуются различными датчиками, позволяющими контролировать температуру, вибрацию, наличие жидкости и влаги внутри корпуса и пр [1]. Такие датчики передают ценную информацию о состоянии двигателя, и позволяют, если это необходимо, произвести вовремя обслуживание двигателя, не допуская серьёзных поломок.

Электродвигатели с такими датчиками находят применение не только в ответственных, удалённых и труднодоступных приводах, но и позволяют сократить эксплуатационные расходы (не требуют регулярных осмотров персоналом) [2].

Для повышения надёжности системы автоматики применяют схему, позволяющую контролировать состояние проводов, соединяющих датчики в электродвигателе и ЩУ.

Применение необслуживаемого оборудования позволяет сокращать эксплуатационные расходы, уменьшает влияние «человеческого фактора» при возникновении аварийных ситуаций, уменьшает «время отклика» при возникновении нештатных ситуаций и позволяет собирать статистику таких ситуаций даже при самоликвидации аварий.

Данные схемы могут встраиваться в различные цепи автоматики или усложняться другими элементами, например, удалённый сброс аварии из системы ДУ, а также применяться в шкафах управления погружными насосами, вытяжными вентиляторами и др.

Литература

1. **Копылов И.П.** Электрические машины: учеб. для студентов электроэнергет. специальностей вузов / И.П. Копылов. Изд. 6-е, стер. Москва: Высшая школа, 2009.
2. **Беспалов В.Я.** Электрические машины: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. 140600 «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» / В.Я. Беспалов, Н.Ф. Котеленец. Москва: Academia, 2006.

В.И. Быков, студ.; Б.В. Салтыков, асп.;
рук. В.Я. Логинов, к.т.н., доц. (РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ПОДБОРОМ ФОРМЫ И ЧАСТОТЫ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ТОКА

Важным направлением современной экономики является развитие энергосберегающих технологий, к которым относится электродиализ.

По действующей технологии процесс электродиализа проводится под действием постоянного электрического поля, т.е. при постоянном токе. Скорость разделения зависит от силы тока и регулируется напряжением.

Для создания эффективных технологий в процессе водоподготовки, большие перспективы имеет использование нестационарных токовых режимов, в частности, переменный ток различной формы [1].

Известно изобретение [2], которое относится к процессу обессоливания воды в электродиализном аппарате с катионо- и анионообменными мембранами на пульсирующем токе.

При проведении процесса электродиализного разделения растворов с пульсирующим током влияние оказывают новые факторы: форма, частота и амплитуда тока.

В целях исследования была собрана лабораторная электродиализная установка с катионо- и анионообменными мембранами и источником питания пульсирующего тока с возможностью формирования сигналов произвольной формы и регулирования частоты и амплитуды.

Рабочая плотность тока в пульсирующем режиме имеет более высокие значения по сравнению с постоянным током, что увеличивает производительность электродиализатора. Кроме того, на снижение расхода электроэнергии влияет наличие интервалов с нулевым током при использовании однополупериодного режима пульсирующего тока.

В ходе работы были сделаны выводы, о снижении затрат на электроэнергию, необходимую на процесс обессоливания воды, а также увеличение производительности очистки вследствие оптимизации процесса за счет формы, частоты и амплитуды тока.

Полученные результаты могут быть использованы в разработке опытно-промышленной установки для обессоливания воды.

Литература

1. **Жермен Крейтон Г.** Основы электрохимии Л.: ОНТИ Госхимиздат, 1934
2. **Вурдова Н.Г.** Нестационарный электродиализ в процессах водоочистки и водоподготовки // Очистка природных и сточных вод: Межвуз. сб. научи, трудов. — Ростов-н/Д. М.: РГАС, 1997.

Е.А. Булычева; рук. С.А. Янченко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ИСТОЧНИКОВ ИСКАЖЕНИЙ НА НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Проблема обеспечения качества электрической энергии усугубляется по мере увеличения доли нелинейных нагрузок в современных электрических сетях. Важным параметром, определяющим уровни несинусоидальности напряжения в сетях с нелинейными нагрузками, является амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) сопротивления сети, достоверное знание которой необходимо для корректного определения фактического вклада нелинейных электроприемников.

Ограниченность существующих методов расчета АЧХ сопротивления заключается в предположении о неизменности АЧХ сопротивления сети в течение всего интервала измерений, что вносит погрешности в оценку фактического вклада в случае реальных сетей и может приводить к некорректным результатам в случае сетей с резкопеременными нагрузками.

В разработанном методе определения фактического вклада нелинейных нагрузок в режиме реального времени [1] АЧХ сопротивления измеряется посредством сигналов измерительных помех на основе троичных импульсных последовательностей. С этой целью разработана модель устройства измерения АЧХ сопротивления сети на основе генератора измерительных помех, представляющий собой программируемый источник питания на основе однофазного инвертора напряжения. Система управления генератора помехи построена на основе цифрового сигнального процессора и включает блоки фазовой автоподстройки частоты для синхронизации помехи с частотой сети, гистерезисного регулятора тока для обеспечения заданной формы и частоты помехи. Силовая часть устройства включает транзисторную сборку, конденсатор цепи постоянного тока и входной фильтр высокочастотных помех.

Благодаря модели можно проработать фундаментальные аспекты определения АЧХ в современных сетях, которые одновременно являются основанием для количественного анализа вклада нелинейных нагрузок в общий уровень несинусоидальности напряжения сети.

Литература

1. **Bulycheva E., Yanchenko S.** «Online Determination of Varying Harmonic Load Contribution to Grid Voltage Distortion», PSCC 2020, Elsevier (готовится к публикации)

С.С. Шарапов, асп.; рук. Г.Р. Титова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ СНАБЖЕНИЯ БЫТОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

С развитием электроэнергетики по мере развития 4 технической революции и распространения интернета вещей, как в бытовом, так и в промышленном секторах растёт число устройств электроники, как самостоятельных потребителей, так и в качестве элемента управления станков, бытовых приборов и даже самих розеток. Вследствие чего увеличивается число помех, генерируемых нелинейными элементами блоков питания устройств электроники. Этого можно избежать используя сеть постоянного тока (DC).

Значительная часть бытовых потребителей может работать на DC напряжением 310 В без изменения конструкции электроприбора [1]. К таким потребителям относятся: электроника, светодиодные светильники, нагревательные приборы, двигательные нагрузки, работающие через цепи мягкого старта или корректор коэффициента мощности. В связи с этим предлагается использовать системе электроснабжения, включающую в себя сеть DC 310 В, для питания вышеперечисленных типов устройств, и сеть переменного тока (AC) 220 В, для питание остальной нагрузки.

Питание сети DC предлагается осуществлять от аккумуляторов, зарядка которых может проводится от сети внешнего электроснабжения или автономных источников энергии. Питания от аккумуляторов позволит повысить надежность снабжение потребителей DC. Потери в сети DC 310 В, ниже чем в сети AC 220 В за счёт отсутствия реактивной составляющей и более высокого уровня напряжения. При эксплуатации сети DC не возникнет потребности в установке фильтрокомпенсирующих устройств, которая может возникнуть в сети AC из-за роста числа и мощности нелинейных потребителей.

При внедрение сети DC встаёт вопрос её электромагнитной совместимостью (ЭМС) с сетью AC. На данной момент не существует нормативной документации по применению систем электроснабжения, подобных описанным в данном тексте. Для распространения сетей DC, требуется рассмотреть вопрос их ЭМС с сетями AC и составить соответствующую нормативную документацию.

Литература

1. **Кривошта Д.А., Янченко С.А.** Оценка эффективности питания бытовой электроаппаратуры на постоянном токе // Потенциал современной науки №1 (9) 2015 г.

Г.С. Алексеенкова, асп.; рук. С.А. Янченко, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ДИАГНОСТИКА ВНУТРЕННИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ТРАНСФОРМАТОРА МЕТОДОМ ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА БЕЗ ОТКЛЮЧЕНИЯ ОТ СЕТИ

Проблема проведения своевременной диагностики внутренних повреждений трансформатора является важной и актуальной задачей в виду того, что силовой трансформатор является одним из наиболее дорогих и ответственных элементов системы электроснабжения.

В результате проведенного аналитического обзора методов диагностики внутренних повреждений трансформатора было выявлено, что наиболее эффективным методом диагностики является метод частотного анализа (МЧА). Однако существенным недостатком данного метода является необходимость отключения трансформатора от сети на время проведения диагностики [1]. Авторы предполагают усовершенствовать данный метод диагностики, а именно: проводить диагностику внутренних повреждений трансформатора методом частотного анализа без отключения от сети.

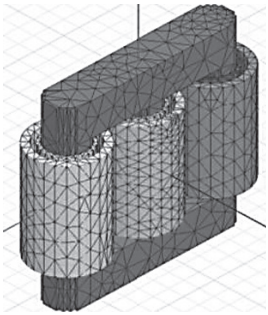


Рис. 1. Трехмерная модель трансформа-тора, полученная методом конечных элементов

Для точного воспроизведения режима работы реального трансформатора авторами была создана трехмерная модель конечных элементов силового трансформатора в программном комплексе Ansys Maxwell (рис. 1).

На основе результатов расчета трехмерной модели были получены параметры для построения RLC-модели трансформатора, с использованием которой была получена частотная характеристика исправного трансформатора.

Полученные результаты будут использованы для изучения эффективности МЧА без отключения при различных видах внутренних повреждений трансформатора.

Литература

1. **Eduardo Gomez-Luna, Guillermo Aponte Mayor, Carlos Gonzalez-Garcia, Jorge Pleite Guerra.** Current Status and Future Trends in Frequency-Response Analysis With a Transformer in Service. // http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp. jsp?tp=&arnumber=6412763&isnumber=6484160

А.Р. Эльбазуров, М.И. Мальсагов, аспиранты;
рук. Г.Р. Титова, к.т.н., доц (НИУ «МЭИ»)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ АКТИВНО-АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛА ХАНГИШ-ЮРТ ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Во всех развитых странах мира уделяется очень большое внимание системам электроэнергетики, использующим самое современное оборудование и технологии, средства измерения, мониторинга и управления, позволяющие на более высоком уровне обеспечить надежность и экономичность функционирования электроэнергетических систем. Решение вышеперечисленных задач является, безусловно, актуальной для российской электроэнергетики [1].

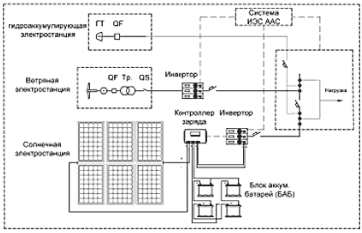


Рис. 1. Система электроснабжения

Речь идет о создании интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС), которая представляет собой энергосистему нового поколения, основанную на мультиагентном принципе управления ее функционированием и развитием. Целью этой системы является обеспечение эффективного использования всех видов ресурсов (природных, социально-производственных и человеческих) за счет гибкого взаимодействия ее субъектов (всех видов генерации, электрических сетей и потребителей) на основе современных технологических средств и единой интеллектуальной системы управления [2]. Для создания системы электроснабжения на основе возобновляемых источников электроэнергии и интеллектуальной системы (рис. 1) была рассмотрена группа потребителей в селе Хангиш-Юрт площадью 28,50 км^2 и с населением 1062 чел., расположенное на правом берегу реки Терек, в Гудермеском районе Чеченской Республики. Минимально допустимый уровень обеспеченности электроэнергией на 1чел. составляет 950кВт·ч /год.

Литература

1. **A R Elbazurov, M I Malsagov,** G R Titova. Application of a smart active adaptive system on the basis of renewable energy sources for electricity supply to an agricultural facility in highland regions of the Caucasus. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, volume 663, Number 1.
2. **Бердников Р.Н., Бушуев В.В.,** Васильев С.Н. Концепция ИЭС ААС — Редакция 5.0 — М.: ОАО «ФСК ЕЭС«, 2012. — 238 с.

А.Ю. Оранжереева, асп.; рук. Е.Н. Рыжкова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВОПРОСЫ УЛУЧШЕНИЯ ПРОЦЕССА ПРОТЕКАНИЯ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ ПРИ РАССТРОЙКЕ КОМПЕНСАЦИИ

Для компенсации емкостного тока в сетях среднего напряжения используются дугогасящие реакторы (ДГР), способные, во-первых, уменьшить ток замыкания на землю до значения, обеспечивающего самопогасание дуги, и, во-вторых, снизить скорость восстановления напряжения в месте повреждения, тем самым препятствовать последующему зажиганию дуги [1].

ДГР настраивается в резонанс с ёмкостью сети, что обеспечивает снижения тока замыкания на землю до минимальной величины — активной составляющей и тока высших гармоник. Существующие реакторы и схемы автоматического управления позволяют настраивать параметры компенсации в нормальном режиме работы сети, либо с использованием параметров данного режима. Но коммутации в сети, вызванные различными причинами, а, следовательно, изменение параметров контура нулевой последовательности могут произойти во время однофазных замыканий на землю (ОЗЗ). При этом, расстройка компенсации приводит к повышению уровня перенапряжений свыше допустимых для оборудования. В этом состоит проблематика данного вопроса.

Предлагается решение, заключающееся как в снижении времени воздействия опасных перенапряжений на оборудование, так и в снижении их уровня. Данный способ основан на методе регулирования тока компенсации ДГР с неизменной индуктивностью с помощью конденсаторных приставок (КП) [2]. КП состоит из параллельно соединенных конденсаторов различной ёмкости, коммутируемых по отдельности, и подключается к обмотке управления ДГР. Емкостной ток КП, находясь в противофазе с индуктивным током ДГР, снижает результирующий ток компенсации, тем самым устраняет расстройку компенсации, возникшую во время ОЗЗ, и её негативные последствия, описанные выше.

Способ, описанный выше, применим как при строительстве новых объектов, так и при реконструкции существующих ДГР.

Литература

1. **Лихачев Ф.А.** Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. М.: Энергия, 1971. — 152с.
2. Конденсаторно-реакторная приставка: пат. №2092953 РФ / **В.П. Рыжков, Е.Н. Рыжкова**; опубл. 10.10.97, Бюл. №28

М.И. Мальсагов, А.Р. Эльбазуров, аспиранты;
рук. Г.Р. Титова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ В РЕСПУБЛИКЕ ИНГУШЕТИЯ

Сектор электроэнергетики находится на пороге одной из самых значительных технологических трансформаций. Бизнес-модели уже начали выстраиваться вокруг инновационных технологий, в том числе технологий децентрализованной генерации энергии, таких как виртуальные электростанции, хранилища энергии и возобновляемые источники энергии. В ближайшем будущем регулирование отрасли по новым технологиям — субсидирование возобновляемой электроэнергии, требования по интеллектуальным системам учета — должно смягчиться [1].

В качестве объекта исследования была выбрана Республика Ингушетия. В энергосистеме Республики Ингушетия отсутствуют собственные генерирующие мощности. Электроснабжение потребителей, расположенных на территории Республики, осуществляется из энергосистемы Республики Северная Осетия — Алания, основная часть электросетевого хозяйства подлежит замене, имеются большие потери и перебои в электроснабжении, наблюдается рост численности населения, максимума нагрузки и электропотребления. Республика Ингушетия обладает значительными ресурсами малых рек, ветра и потенциалом солнечной инсоляции, которых достаточно для обеспечения населения электрической энергией, что было подтверждено расчетами [2]. Вышеизложенные факты могут стать толчком к модернизации энергетики республики от традиционного типа, к децентрализованному. Предлагается внедрить распределенную энергетику, разбитую на энергетические кластеры, включающие в себя генерирующее, аккумулирующее и распределительное оборудование.

Литература

1. **Ма Хуатэн, Мэн Чжаоли, Ян Дели**. Цифровая трансформация Китая: Опыт преобразования инфраструктуры национальной экономики — М.: Альпина Паблишер, 2019
2. **M I Malsagov, A R Elbazurov, G R Titova**. Possibility of using renewable energy sources in the Republic of Ingushetia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, volume 663, Number 1.

М.Е. Малыш, асп.; рук. Ю.В. Матюнина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Для определения рациональных режимов работы предприятий и оперативного управления ими необходимо точно планировать потребление электроэнергии. В настоящее время в России начинают привлекать потребителей к участию в управлении спросом на электроэнергию [1], что также говорит о важности планирования электропотребления предприятия.

В работе для целей создания простой и точной прогнозной модели были применены методы кластерного анализа. Кластеризация графиков нагрузки предприятия проводилась по двум параметрам: по средним и максимальным значениям потребляемой мощности за день. Эти параметры просты в вычислении и содержательно описывают характер электропотребления. Собраны графики нагрузки предприятия за один год. На первом этапе анализировались графики нагрузки, и проводилась их кластеризация по каждому сезону. На втором этапе были вычислены параметры, которые показывают вариацию данных внутри кластера. Все данные внутри каждого кластера достаточно однородны для того, чтобы по ним можно было построить прогнозную модель. Далее были построены графики нагрузки по средним значениям за каждый час всех дней, входящих в кластер. Эти графики послужили моделью для прогнозирования электропотребления.

На третьем этапе осуществлен прогноз электропотребления для нескольких дней, выполнен расчёт стоимости электроэнергии по шестой ценовой категории (ЦК) и платы за отклонение фактических значений от плановых (штрафов за неточность прогноза). Средняя погрешность прогноза не превысила 2,5%. На основании результатов расчёта штрафов для прогнозируемых дней и приведенных в [2] показателях можно внести предложение о переходе предприятия с четвертой ЦК на шестую.

Метод кластеризации данных электропотребления по средним и максимальным значениям потребляемой мощности за день достаточно прост, что позволяет использовать его в целях прогнозирования графиков нагрузки и участия в управлении спросом на электроэнергию.

Литература

1. Постановление Правительства РФ №287 от 20.03.2019 г.
2. **Матюнина Ю.В., Малыш М.Е., Султаналиева Э.М.** Оценка штрафных санкций при неточном планировании графика нагрузки // Федоровские чтения — 2017. М.: Издательский дом МЭИ, 2017. С. 123–128.

А.А. Пастухова, Д.А. Коломацкий, студенты;
рук. Я.Э. Шклярский, д.т.н., проф. (СПГУ, г. Санкт-Петербург)

СОВМЕСТНОЕ ОГРАНИЧЕНИЕ ТОКОВ ВКЛЮЧЕНИЯ И ТОКОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК СИЛОВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

В настоящее время повсеместно практикуется применение реакторов для ограничения токов включения силовых конденсаторов [1]. Дополнительно могут быть использованы реакторы с другими параметрами, уменьшающие действие токов высших гармоник [2]. Перед авторами была поставлена оптимизационная задача по выбору параметров всего одного реактора функционально обеспечивающего допустимый уровень токов в двух разных режимах. Для решения поставленной задачи на первом этапе было выполнено математическое и компьютерное моделирование с дальнейшим анализом полученных результатов. Для оценки величин токов включение было выполнено математическое моделирование на основе сформированной системы жестких дифференциальных уравнений. Для оценки влияния токов высших гармоник математическое моделирование базировалось на уравнениях установившегося процесса. Параметры сети и конденсаторов варьировались в реальных для промышленных производств пределах. Получена достаточная сходимость результатов математического и компьютерного моделирования в среде MATLAB. Исследования привели к следующему заключению: возможно выявление такой области параметров реактора, при которых одновременно решается задача по ограничению как токов включения, так и токов высших гармоник конденсатора.

Литература

1. **Szklarski J.** Stany nieustalone w sieci kopalnianej przy komutacji baterii kondensatorow rownoleglych. — Krakow, 1990. — 105 с.
2. **Жежеленко И.В.** Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. — М.: Энергоатомиздат, 2010. — 375 с.

Ю.В. Павленко, студ., Д.А. Шепилов, асп.; рук. Д.В. Михеев, к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ ПО СОЗДАНИЮ ПРОГРАММНО-ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Применение высококачественного специализированного программного обеспечения (ПО), направленного на автоматизацию производственных процессов, является одним из ключевых факторов повышения конкурентоспособности, эффективности и результативности функционирования электроэнергетических организаций. В этой связи существует актуальная необходимость в совершенствовании методов управления проектами по разработке и внедрению данного ПО.

В работе осуществлен сравнительный анализ современных методов управления проектами, в результате которого были выявлены достоинства и недостатки каждого. Преимуществом классического метода является возможность эффективной реализации процесса планирования проекта (например, точное определение сроков и стоимости проекта). К плюсам методов, использующих методологию гибкого управления проектами Agile, можно отнести высокую степень адаптивности к изменяющимся факторам внешней и внутренней среды проекта и получение в конце каждой итерации инкремента продукта, который готов к использованию для потребителя на промежуточных стадиях [1].

С учетом проведенного анализа был предложен «гибридный» подход к управлению проектами, базирующийся на синтезе наилучших практик проектного менеджмента. Осуществлено его сравнение с другими методами при создании программно-информационного обеспечения для генерирующих и энергосбытовых компаний. Результаты сравнения свидетельствуют об улучшении показателей результативности и эффективности реализуемых проектов.

Таким образом, предложенный «гибридный» подход может быть использован в проектной деятельности по разработке ПО для генерирующих и энергосбытовых компаний, функционирующих на Оптовом рынке электрической энергии и мощности (ОРЭМ).

Литература

1. **Алешин А.В., Аньшин В.М., Багратиони К.А. и др.** Управление проектами: фундаментальный курс: учебник // М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2013. 620 с. ISBN 978-5-7598-0868-8.

Секция 33.
ЭНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ

Председатель секции — Степанова Татьяна Александровна
Секретарь секции — Бурмакина Анна Владимировна

Д.П. Хорошевская, студ.; рук. С.К. Попов, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА

Проблема утилизации твердых коммунальных отходов (ТКО) остается одной из актуальных для экологии в современном мире. На сегодняшний день известны различные методы утилизации, один из которых — переработка ТКО в альтернативное твердое топливо (RDF — Refuse Derived Fuel). Существуют разные способы дальнейшего использования полученного альтернативного топлива, одним из них является газификация.

Газификация топлив — превращение твердых и жидких топлив в генераторный газ путем неполного окисления воздухом (кислородом, водяным паром) при высокой температуре. Разработан и используется в промышленности ряд конструктивных вариантов газогенераторов — реакторов, в которых реализуется газификация. Мировой опыт показывает, что наиболее востребованными являются газогенераторы кипящего слоя, сочетающие в себе возможность увеличения единичной мощности до 100 МВт и более, хорошие экологические показатели, а также качество получаемого генераторного газа [1].

С целью анализа направлений энергоэффективного использования альтернативного твердого топлива разработана и реализована в среде Mathcad математическая модель тепловой работы реактора-газогенератора с кипящим слоем RDF [2]. Получены зависимости низшей теплоты сгорания, температуры, состава генераторного газа, КПД газогенератора от объемной доли кислорода в окислителе и начальной влажности RDF в диапазоне значений коэффициента расхода окислителя $\alpha = 0{,}5\ldots0{,}6$. Исследования выполнены как для однокамерного, так и для двухкамерного газогенератора с циркулирующим дисперсным промежуточным теплоносителем. Полученные результаты составляют основу для выбора рациональных структурных и режимных параметров тепловой схемы установки.

Литература

1. **Алешина А.С.** Газификация растительной биомассы в газогенераторах кипящего слоя: Автореф. дис. … канд. техн. наук. — Санкт-Петербург, 2013.
2. **Попов С.К.** Процессы и установки газификации топлива / С.К. Попов, В.А. Ипполитов. — М.: Издательство МЭИ, 2016. — 48 с.

В.А. Масловский, студ.; рук. С.К. Попов, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПИРОЛИЗА УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ВЕЩЕСТВ

Рост цен на ископаемые топлива и ужесточение требований к экологической безопасности технологий стимулируют поиск и исследование новых источников энергии. Одно из перспективных направлений этих исследований — получение торрефиката из биомассы [1].

Торрефикация — термохимический процесс переработки биомассы и других углеродсодержащих материалов, реализуемый в диапазоне температур 200–300 оС с целью получения твердого углеродистого остатка, называемого торрефикатом, который может быть использован как вторичное топливо. Процесс реализуется при отсутствии окислителя в режиме низкотемпературного пиролиза.

Цель работы — изучение взаимосвязи режимных параметров процесса торрефикации на примере твердых коммунальных отходов (ТКО).

Разработана и реализована в среде AspenPlus математическая модель реактора торрефикации, основанная на следующих допущениях: тепловой режим всех элементов тепловой схемы — стационарный; газообразные продукты процесса находятся в состоянии термодинамического равновесия; свободная сера и свободный углерод, образующиеся в процессе торрефикации, находятся в твердом агрегатном состоянии [2].

Исследуемые величины — температура, состав, удельный расход и теплота сгорания газообразных продуктов процесса; доля углерода, перешедшего в твердые продукты конверсии. Варьируемые режимные параметры: влажность ТКО; расход теплоты, подводимой извне к реактору торрефикации.

Установлена область значений варьируемых параметров, обеспечивающая температурный уровень процесса торрефикации. Полученные результаты могут быть применены при разработке конструкции реактора низкотемпературного пиролиза.

Вовлечение торрефиката в структуру топливопотребления может дать заметную экономию первичного топлива одновременно с экологическим эффектом, развивая «зеленую энергетику».

Литература

1. **Соуфер С**. Биомасса как источник энергии / С. Соуфер, О. Заборски. — М.: Мир, 1985.
2. **Попов С.К.** Моделирование высокотемпературных процессов и установок в среде AspenPlus: учебное пособие / С.К. Попов, И.Н. Свистунов, В.А. Ипполитов. –М.: Издательство МЭИ, 2017.

А.А. Ерунов, студ.; рук. И.М. Бернадинер,
к.т.н, доц П.В. Хорева, асс. (НИУ «МЭИ»)

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ПЕСТИЦИДОВ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ БАРАБАННОЙ ПЕЧИ

В работе [1] намечены направления и показана актуальность ликвидации накопленных пестицидов в РФ. Рассмотрены классификация пестицидов, их влияние на организм человека и окружающую среду, количество накопленных ядохимикатов по регионам РФ. Исследованы основные способы обезвреживания пестицидов. После тщательного изучения, было принято решение выбрать высокотемпературное обезвреживание ядохимикатов во вращающейся барабанной печи.

Разработана технологическая схема высокотемпературного обезвреживания пестицидов. В качестве отходов были выбраны ДДТ, пентахлорнитрабензол, цирам и бутиловый эфир общей массой 16905,4 т. Агрегатная нагрузка установки: 0,194 кготх/с. Далее был определен процентный состав отходов, выполнен расчет горения отходов и природного газа, составлен тепловой баланс реактора при температурах воздуха 900, 600, 300 и 25 °С. В ходе расчета было выявлено, что при 25 °С количество дополнительного топлива (природный газ) стремится к 0, а, значит, дальнейший нагрев воздуха не требуется, следовательно, убираем из схемы воздухоподогреватель. Далее выполнен тепловой расчет камеры дожигания и скруббера. Итоговая структурная схема включает в себя технологический реактор (вращающаяся барабанная печь) с камерой дожигания. Далее по ходу дымовых газов установлен скруббер и дымовая труба. В дальнейшем исследовании целесообразно включить в схему фильтр для улавливания пыли. Создание высокотемпературной установки для обезвреживания пришедших в негодность пестицидов позволит решить такие важные экологические проблемы, как загрязнение окружающей среды, загрязнение почвы, грунтовых вод и невозможность их использования, а также поможет предотвратить появление и развитие хронических и приобретенных заболеваний населения.

Литература

1. **Ерунов А.А., Хорева П.В.** Актуальность ликвидации накопленных пестицидов в РФ // Радиоэлектроника, Электротехника и Энергетика: Двадцать пятая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (14–15 марта 2019 г, Москва): Тез. докл. С. 609.

В.А. Екимова, студ.; рук-ли: И.М. Бернадинер, к.т.н., доц.;
П.В. Хорева, асс. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ СУШКА ОБРАЗЦОВ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Осадки городских сточных вод (ОСВ) имеют большие объёмы, очень высокую влажность (до 98%) и содержат органические вещества, способные быстро разлагаться и загнивать. Заключительным этапом подготовки ОСВ к дальнейшим экспериментам, либо конечной ликвидации является термическая сушка осадка. После термического воздействия осадок представляет собой сухой, не загнивающий сыпучий материал свободный от вредных патогенных элементов.

В экспериментальных исследованиях использовались четыре образца осадков сточных вод с очистных сооружений Москвы и Московской области. В низкотемпературной печи Snol 58/350c принудительной воздушной конвекцией проводилось аналитическое исследование сушки ОСВ в исследовательской лаборатории. Образцы осадков нагревались до 150 градусов Цельсия и каждые 30 мин измерялась масса ОСВ на электронных весах Adventurer, результаты эксперимента представлены на таблице 1.

Табл. 1. Экспериментальные данные изменения массы ОСВ от времени, г

Время эксперимента	Зеленоградские очистные сооружения	Люберецкие очистные сооружения	Ю.-Бутовские очистные сооружения	Курьяновские очистные сооружения
t, мин	M_1, г	M_2, г	M_3, г	M_4, г
0	13,433	13,023	19,429	11,472
120	12,571	1,073	2,405	1,442
270	-	1,053	1,860	-

Образец с Зеленоградских очистных сооружений обладал большим количеством взвешенных (грубодисперсных) примесей (песок), уже в середине эксперимента показания массы перестали давать динамику изменений, удалось выпарить лишь 6,305% влаги. Люберецкий образец за первые 30 минут эксперимента потерял почти 43,554% влаги и за последующие 4 часа эксперимента еще 48,360%. Осадок из Южно-Бутовских очистных сооружений показал более равномерные показатели изменения массы, что в итоге привело к потере 90,427% влаги. Обезвоживание Курьяновских ОСВ позволило снизить влажность осадка на 87,431%, эксперимент занял 120 минут.

Т.А. Высочина, студ.; рук. С.К. Попов, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ КОНВЕРТЕРНЫХ ГАЗОВ В СИСТЕМЕ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ

В настоящее время в российском металлургическом производстве значительным резервом для энергосбережения является использование теплоты газов сталеплавильных конвертеров, потенциал которых оценивается в размере 1,25 млн. т у. т. в год.

Конвертерный газ содержит до 85–90% CO и имеет низшую теплоту сгорания 11000 кДж/м3. Поток конвертерного газа, выделяющегося за период одной плавки, характеризуется энергией 1760 ГДж (60,08 т у. т.).

Перспективное направление использования отмеченного потенциала — переработка высокотемпературного конвертерного газа в топливный газ широкого применения посредством физико-химического взаимодействия с природным газом или другими углеводородсодержащими веществами. При этом теплопотребление процесса обеспечивается теплотой газовых отходов. В процессе превращения газовых отходов во вторичное топливо используется и тепловой, и материальный поток отходов. Один из способов реализации данного направления — энергохимическая аккумуляция (ЭХА), вызывающая интерес у отечественных и зарубежных исследований.

Ряд исследований в области энергохимической аккумуляции (ЭХА) теплового и материального потока высокотемпературных газовых отходов посвящен определению области режимных параметров процесса ЭХА, в которой продукты ЭХА имеют жаропроизводительность не меньшую, чем у метана или природного газа, и потому могут рассматриваться как качественное вторичное топливо.

В данной работе проведено исследование взаимосвязи режимных параметров схем утилизации конвертерных газов как на основе ЭХА, так и на основе термохимической рекуперации теплоты сгорания конвертерных газов с выработкой электроэнергии. Результаты исследования могут быть использованы для обоснования выбора направления дальнейших углубленных исследований.

Литература

1. **Попов С.К., Петин С.Н., Свистунов И.Н., Ипполитов В.А.** Повышение эффективности теплотехнологий при использовании природного газа и кислорода. — М.: Издательство МЭИ, 2018.
2. **Воскобойников В.Г.** Общая металлургия: Учебник для вузов [Текст] / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев М. и др. — М.: Металлургия, 1985.

А.А. Пономарева, студ.; рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО АГРЕГАТА MIDREX С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Применение технологий по производству железа прямого восстановления в виде металлизированных окатышей (DRI) и горячего брикетированного (HBI) железа является перспективной отраслью для эффективного развития мировой металлургии. На сегодняшний день существует ряд технологий по производству прямого восстановления железа, но лидирующее место занимает установка компании Midrex. Так, например, по данным 2018 года Midrex составляет — 63,5%; Rotary Kiln- 20,2%; HYL/Energiron — 15,5%; Остальные — 0,7% [1]. Midrex — процесс получения железа прямого восстановления в шахтной печи руды газом, получаемый методом каталитической конверсии природного газа диоксидом углерода колошникового газа и водяным паром [2].

Выделяют 6 следующих этапов развития технологии Midrex, существенно отличающихся технологическими параметрами и технико-экономическими показателями работы агрегатов [3]. Указанные технологические этапы, в основном связаны с технологическим развитием, что позволяет расширить перечень используемого сырья. В процессе развития технологии Midrex удельные расходы природного газа не всегда снижаются, так например, в 3-м этапе расход природного газа составляет 257,9 м3/т, а в последующих этапах расход газа увеличивается до 260,3–265,8 м3/т. Необходимо отметить, что с развитием технологии расход электроэнергии снизился 1,5 раза и на 6 этапе составляет 90 кВт·ч/т.

В данной работе для повышения энергоэффективности установки Midrex предлагается использовать теплоту охлаждения газов в скруббере и теплоту при охлаждении окатышей, что позволит снизить расход природного газа в рассматриваемой технологии.

Литература

1. Midrex technologies inc. [Электрон. ресурс] URL: https://www.midrex.com/assets/user/news/Midrex_STATSbookprint_2018Final1. pdf (дата обращения 01.11.2019)
2. **Кудрин В.А.** Теория и технология производства стали. М.: Мир,2003
3. В мире металлургии. [Электрон. ресурс] URL: https://steeltimes.ru/books/allmet/srmp/511/511. php (дата обращения 26.11.2019)

Я.В. Костромин, студ.; рук-ли.:
А.А. Валинеева, ст. преп.; С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Проблема утилизации твердых коммунальных отходов (ТКО) с каждым годом становится все актуальнее. Ежегодно в России в среднем образуется более 70 млрд. тонн ТКО. Всего лишь 3–5% перерабатывается, но большая их часть отправляется на полигоны и свалки без какого-либо обезвреживания и сортировки. Токсичные вещества, которые образуются при разложении ТКО, загрязняют окружающую среду. Частично эту проблему решают на мусороперерабатывающих заводах, которые помимо утилизации, вырабатывают электроэнергию и теплоту. Анализ действующего мусоросжигательного завода показал, что производство электроэнергии составляет 13%, а теплоты 54% от возможного потенциала ТКО. Это говорит о том, что энергетический потенциал ТКО используется незначительно, кроме того от сжигания 1тонны ТКО образуется около 250 кг вредных для окружающей среды шлаков.

Перспективным направлением использования ТКО в г. Москве является переработка на производство строительной технологической продукции [1,2]. В работе предлагается способ переработки ТКО в печи Ванюкова с дальнейшим получением строительной продукции и энергетических ресурсов.

Технология переработки ТКО разрабатываемым способом производится в высокотемпературном барботажном слое в интервале температур от 1200 до 1750 оС в автогенном режиме. ТКО может иметь высокую влажность, поэтому для достижения необходимых температур используется кислородное дутье. Одновременно с ТКО в печь загружаются флюсы, которые необходимы для получения планируемой строительной продукции.

Литература

1. **Валинеева А.А. Ковшикова Е.С.** Термическая переработка твердых комунальных отходов с использованием их шлака как корректирующей добавки к керамзитовой массе // Энергосбережение — теория и практика: Труды Девятой Международной школы-семинара молодых ученых и специалистов — М.: Издательский дом МЭИ, 2018. С. 442–445.
2. **Степанова Т.А., Валинеева А.А., Ковшикова Е.С., Гоц С.Н.** Разработка перспективной энергосберегающей установки по переработке твердых коммунальных отходов для получения строительной продукции // Энергетические и электротехнические системы: междунар. сб. научн. трудов.-Вып. 4- Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017 С. 327–333.

В.А. Екимова, студ.; рук-ли: И.М. Бернадинер, к.т.н., доц.;
П.В. Хорева, асс. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД (ОСВ)

Знание теплоты сгорания ОСВ необходимо для правильной организации и расчета процессов их термической ликвидации. Предварительно четыре образца ОСВ Москвы и Московской области прошли термическую сушку.

Нами были выполнены экспериментальные исследования по определению теплоты сгорания четырех образцов ОСВ вкалориметре модели IKA C2000 basicVersion. В таблице 1 представлены полученные результаты измерений исследовательской работы. Средний вес проб осадка составил 0,87 г.

Табл. 1. Экспериментальные данные теплоты сгорания образцовОСВ, МДж/кг

Осадок с Зеленоградских очистных сооружений	Осадок с Люберецких очистных сооружений	Осадок с Южно-Бутовских очистных сооружений	Осадок с Курьяновских очистных сооружений
Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
-	16,086	17,918	13,177

В результате эксперимента было выявлено, что из-за большого количества грубых примесей (песка) и малого содержания органической части в первом образце эксперимент не дал никакого результата. Теплота сгорания сухого осадка остальных трех образцов в среднем составила около 16 МДж/кг. Осадок Южно-Бутовских очистных сооружений показал наивысший показатель Q_3=17,918 МДж/кг. На рисунке 1 приведена сравнительная диаграмма значений теплоты сгорания различных топлив с полученным усредненным значением теплоты сгорания ОСВ.

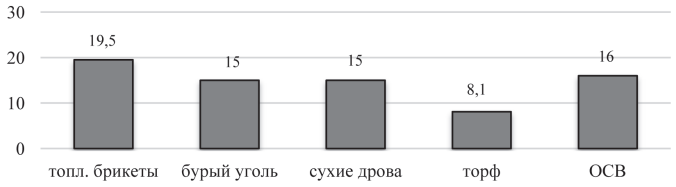


Рис. 1. Показатели удельной теплоты сгорания некоторые топлив, МДж/кг

Е.М. Кувшинов студ.: рук. К.В. Строгонов, к.т.н. доцент (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ДЕГАЗАЦИИ БАЗАЛЬТОВОГО РАСПЛАВА

На российский предприятиях на данный момент эксплуатируются печи для получения НБВ (непрерывного базальтового волокна) температура которого может достигаться 1400–1500°С. Основными недостатками подобных печей является достаточно большие габариты, большой расход тепловой энергии и отсутствие возможности быстрого удаления примесей из расплава [1]. Поэтому на кафедре ЭВТ был предложен реактор по плавлению базальта особенностью которой является, зона вакуумирования для осветления расплава на участке в 250 мм, а именно удаление из него пузырей газов и применение барботажа для интенсификации процесса [2].

Для исследования процесса дегазации разработанной печи было изготовлено устройство аналогичное циркуляционным вакууматорам применяемым в сталеплавильном производстве [3].

Задачей устройства является интенсивное удаление газов из расплавленной массы базальта, чтобы при меньших габаритах печи позволит увеличить производительность, обеспечить высокое качество БНВ, удешевить производство в том числе за счёт уменьшения тепловых потерь. Габариты лабораторного устройства, выполненного по аналогии с циркуляционным вакууматором, составляют: длина 270 мм, ширина 150 мм и высота 465 мм, высота слоя базальта составляется 2–4 мм, для большей интенсивности удаления пузырей.

Литература

1. **Джигирис Д.Д., Махова М.Ф.** Основы производства базальтовых волокон и изделий — М.: Теплоэнергетик, 2002. — 416 с.
2. Патент №2695188 Российской Федерации МПК51 C03B 37/02 УСТРОЙСТВО ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН/Строгонов К.В., Назаров М.Н.; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ») — №2018121113; заявка от 07.06.2018; опубл. 22.07.2019 Бюл.№21.
3. Общая металлургия. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Учебник для вузов. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Металлургия, 1998. — 768 с.

А.А. Здаров, студ.; рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ДЕГАЗАЦИЯ БАЗАЛЬТОВОГО РАСПЛАВА МЕТОДОМ ВАКУУМИРОВАНИЯ

В настоящее время плавление руды для производства непрерывных базальтовых волокон, необходимых для создания композитных и теплоизолирующих материалов, происходит излучением от факела горящего газа [1]. Использование перспективной технологии нагрева кипящего слоя базальтового расплава осложняется тем, что расплав насыщается растворимыми газами, в частности СО2, присутствие которых в НБВ недопустимо.

На производстве дегазация расплава происходит в базальтовых ваннах большой площади. Это приводит к значительным теплопотерям за счет излучения и увеличению удельных затрат энергии на производство НБВ. Для оптимизации процесса дегазации базальтового расплава целесообразно использовать вакуумационную установку.

На кафедре ЭВТ НИУ МЭИ проводятся эксперименты по использованию вакуумационной установки для дегазации расплава, направленные на получение расчетной формулы для параметров расхода базальта через реактор и соответствующих размеров вакууматора. В качестве рабочего тела при физическом моделировании выступает глицерин, физические свойства плотности и вязкости которого определены по методу Стокса [2].

Принимая во внимание, что установленное разряжение влияет на диаметр пузырьков газа, можно рассчитать расход жидкости через вакууматор при требуемых техническим заданием размерах установки и степени дегазации [3].

Вещество	vотн, ΔP = 0 бар	vотн, ΔP = 0.95 бар
Глицерин	20×10^{-4} м/с	120×10^{-4} м/с
Базальт	1.573×10^{-4} м/с	10×10^{-4} м/с

Таким образом, дегазация и базальтового расплава при помощи вакуумирования — это перспективный метод, который позволит ускорить процесс получения НБВ и уменьшить удельные затраты энергии и стоимость производства.

Литература

1. **Д.Д. Джигирис, М.Ф. Махова.** Основы производств базальтовых волокон и изделий. М.: Теплоэнергетик, 2002.
2. **И.В. Савельев.** Курс общей физики: Учебное пособие. В 3-х тт. Т. 1. Механика. Молекулярная физика. СПб.: Изд-во «Лань», 2006.
3. **В.Ю. Чанцев.** Определение параметров воздушно-пузырькового барботажа в воде. СПб.: Проблемы Арктики и Антарктики, 2017.

Д.В. Прокофьева, студ.; рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. ***(НИУ «МЭИ»)***

РАСЧЕТ ЦИКЛОННОГО РЕАКТОРА ДЛЯ ПЛАВЛЕНИЯ БАЗАЛЬТА

В последние годы композитная отрасль непрерывно развивается, так же появляется все больший интерес к продуктам из базальтового волокна [1]. Существующие плавильные печи, как правило имеют низкую энергетическую эффективность [2], для повышения энергетической эффективности плавления базальта требуется разработка энергоэффективного реактора.

Циклонные реакторы ранее исследовались, например, для плавления оловосодержащих материалов, меди, железной руды и доказали свою эффективность [3, 4].

В данной работе была поставлена задача рассчитать циклон для плавления базальта по известным методикам [4]. В расчётах принято, что в плавильный циклон подается базальт с расходом 1,79 кг/ч с диаметром частиц (d) 2 мм, который нагревается с помощью сжигания природного газа, при этом расчётный расход природного газа в соответствии с рассчитанным тепловым балансом составляет 1485 м3/с. Тепловой баланс циклона для плавления базальта

Приход теплоты	кДж/кг	Расход теплоты	кДж/кг
Химическое тепло, $Q_{хт}$	29 375,9	Физ. тепло расплава, $Q_р$	3545,0
Физ. тепло дутья, $Q_{фд}$	5412,1	Физ. тепло уходящих газов, $Q_{уг}$	23 486,4
Физ. тепло пыле-воздушного потока, $Q_{пв}$	313,2	Физ. тепло уноса, $Q_{ун}$	444,1
		Отвод тепла через стенки, $Q_{ст}$	7625,7
Общий приход теплоты, $\Sigma Q_{пр}$	35 101,2	Общий расход теплоты, $\Sigma Q_{расх}$	35 101,2

Литература

1. «Композитный мир» // ООО «Издательский дом «Мир Композитов» [Журнал]. Москва, 2019 г. — стр. 36.
2. **Джигирис Д.Д.** Основы производства базальтовых волокон и изделий // Д.Д. Джигирис, М.Ф. Махова. — М.: Теплоэнергетик, 2002. — 416 с. (Каменный век)
3. Циклонные энерготехнологические процессы и установки // Материалы научно-технического совещания, проведенного в Москве в ноябре 1966 г. Москва, 1967.
4. **Сидельковский Л.Н. Р**азработка и исследование циклонных энерготехнологических процессов // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва, 1971.

П.Н. Григорьев, студ.; рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА БЕЗОТХОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ КОНВЕРТОРНЫХ ГАЗОВ

Значительным резервом для энергосбережения в черной металлургии РФ является использование газов сталеплавильных конвертеров, потенциал отечественных металлургических предприятий оценивается в размере 1,25 млн ту.т. в год [1,2].

В настоящее время в отечественные металлургические предприятия при конвертерном производстве стали отводят конвертерные газы с частичным дожиганием в охладитель конвертерных газов (ОКГ), через системы мокрой газоочистки и окончательным сжиганием на свече. Использование конвертерных газов (КГ) на отечественных предприятий не превышает 10% от их энергетического потенциала. Актуальной остается разработка прорывных технологий по утилизации конвертерного газа, в том числе создании новой энерготехнологической схемы его использования.

На зарубежных металлургических заводах проблема утилизации конвертерных газов (УКГ) решается при использовании газгольдеров [1]. В зарубежных схемах до 70–90% отходящих КГ направляется в газгольдер, а 10–30% сжигается на свече. Так как газ, идущий на свечу, утилизировать не целесообразно из-за низкого содержания СО. Для снижения расхода газа на свечу зарубежные специалисты предлагают использования процесса энергохимической аккумуляции (ЭХА), который был предложен учеными МЭИ в 1985-х годах [2].

В работе рассматриваются способы УКГ при использования термохимической рекуперации (ЭХА, ТХР) для производства различных энергоносителей: электроэнергия, водород и др., что направляет на создание безотходных технологий УКГ.

Например, при работе 2-х конвертеров 350 тонн при выплавке стали 5 млн. тонн в год возможно получение 588.12 млн. кВт·ч в год электроэнергии или 476.78 млн. м3 водорода в год при дополнительных затратах природного газа 67,57 млн. м3 в год.

Литература

1. **Попов С.К.** Решение проблемы утилизации конвертерных газов способами термохимической рекуперации / С.К. Попов, А.Б. Гаряев, С.Н. Петин, А.М. Беленький // М.: НИТУ МИСиС — 2018. С. 258–264.
2. **Попов С.К.** Энергохимическая аккумуляция высокотемпературных газовых отходов / С.К. Попов, С.Н. Петин, А.В. Бурмакина, П.А. Стогов // Теплоэнергетика. — 2019. — №2. — С. 51–62.

В.О. Беляева, студ.; рук. С.К. Попов, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАНТНОЙ ТРУБЫ С КОНВЕСИЕЙ ПРИРОДНОГО ГАЗА РЕЦИРКУЛИРУЮЩИМИ ГАЗОВЫМИ ОТХОДАМИ

В данной работе исследуется область эффективного использования отходящих газов радиантной трубы для термохимической рекуперации с целью экономии первичного топлива — природного газа.

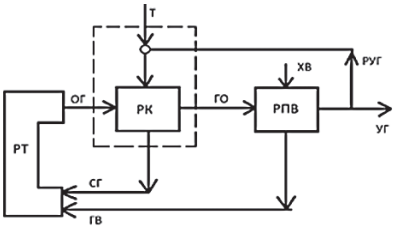


Рис. 1. Тепловая схема

Термохимическая рекуперация теплоты газовых отходов может быть реализована в тепловой схеме, представленной на рисунке 1, где РТ — радиантная труба; РК — реактор конверсии; РПВ — регенеративный подогреватель воздуха; ОГ — отходящие газы; ГО — газовые отходы; УГ — уходящие газы; Т — топливо (природный газ); СГ — синтез-газ; ХВ — холодный воздух; ГВ — горячий воздух; РУГ — рециркулирующие уходящие газы.

Варьируемые параметры:

1. Объёмная доля рециркулирующих газовых отходов

$$\varphi = V_{руг}/V_{ог} \ ,$$

где $V_{руг}$ – удельный расход рециркулирующих уходящих газов, м^3/(м^{3}природного газа), $V_{ог}$ – суммарный удельный расход газовых отходов, покидающих РТ, м^3/(м^3 природного газа) [1]. В данной работе принимались значения φ = 0,05; 0,1; 0,2; 0,25; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7.

2. Тепловая мощность, отводимая от РТ, Q_{out} = 70; 100; 150 кВт.

3. Температура отходящих газов — 820; 1000; 1200 °С; температура синтез-газа — 500; 700; 1000 °С.

Исследование тепловой схемы выполнено в среде Mathcad.

В результате получено, что самый высокий КПД, равный 82%, достигается при температуре отходящих газов 1000 °С и φ = 0,25.

Полученные данные могут быть использованы при разработке энергоэкономичных радиантных труб.

Литература

1. **Свистунов И.Н.** Повышение энергетической эффективности плавильных и нагревательных установок на основе конверсии природного газа. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. НИУ «МЭИ» 2017.

В.М. Савчин, студ.; рук. И.М. Бернадинер, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРЕРАБОТКА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ

Использование радиоактивных изотопов и ядерных излучений увеличивается с каждым годом, что сопровождается и ростом количества экологически опасных радиоактивных отходов (РАО). Эти отходы в свою очередь вызывают серьезное беспокойство населения и государственных органов в связи с потенциальной радиационной опасностью хранилищ и могильников РАО для человека и окружающей среды. В 2006 году Международное агентство по атомной энергии (МагАтЭ) заявило, что существует технология имеющая возможность переработки всех основных видов РАО низкой и средней активности, как твердых радиоактивных отходов (ТРО), так и жидких (ЖРО). Это плазменная технология переработки отходов.

В работе рассматривается установка для переработки РАО методом плазменной переработки. Установка состоит из печи шахтного типа с двумя плазменными горелками фирмы Westinghouse Plasma Corporation a division of Alter NRG Corp. (WPC), камеры дожигания, котлов-утилизаторов, рукавного фильтра, теплообменника. Агрегатная нагрузка установки 750 кг ТРО/ч. Установка выполняет все необходимые условия для утилизации радиоактивных отходов, качественного дожигания газа и сокращения концентрации вредных компонентов в этих газах до допустимых значений.

Выполнен расчет элементного состава РАО. Составлен материальный и тепловой баланс печи, найдены удельные выходы компонентов пирогаза и теплота, выделяемая плазматроннами. Для камеры дожигания, также, был составлен материальный и тепловой баланс, найдены удельные выходы компонентов отходящих газов и найдена температура отходящих газов. Рассчитана зависимость удельного выхода компонентов горения из печи и необходимая теплота выделяемая плазменными горелками для реализации процесса от коэффициента избытка воздуха.

Подобрано дополнительное оборудование для процесса: рукавный фильтр КФЕ45 фирмы «СПЕЙС — МОТОР», плазменные горелки MARK 11H фирмы Westinghouse Plasma Corporation a division of Alter NRG Corp. (WPC), котлы-утилизаторы ПКС-Ц-10/40 компании ЗАО «ЭНЕРГОМАШ».

Определено оптимальное место размещение комплекса для переработки радиоактивных отходов.

Планируется выполнить модернизацию установки, для совместного сжигания ТРО и ЖРО.

Д.О. Яковлев, студ.;рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕЧИ КОЛЬЦЕВОГО (КАРУСЕЛЬНОГО) ТИПА

В рамках работы по модернизации нагревательной печи кольцевого типа был предложен ряд мероприятий по повышению её энергоэффективности, а именно: перевод печи с периодического действия на непрерывное; добавление перегородки в рабочее пространство печи; изменение числа и расположения горелок и точек отвода дымовых газов для организации выраженных зон нагрева.

Расчёты, выполненные по известным методикам [1], показывают, что внедрение перечисленных мероприятий позволит увеличить производительность печи, эффективность нагрева заготовок, а так же снизит удельный расход топлива для данной печи до 40%.

Так как внедрение данных изменений в конструкцию печи повлечёт за собой изменение температурного режима печи и схему течения продуктов сгорания, было принято решение о необходимости математического моделирования. 3D модель печи до и после модернизации представлена на рисунке 1 и 2 соответственно.

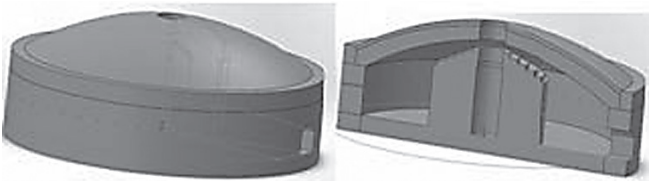


Рис. 1. 3D модель печи до модернизации.

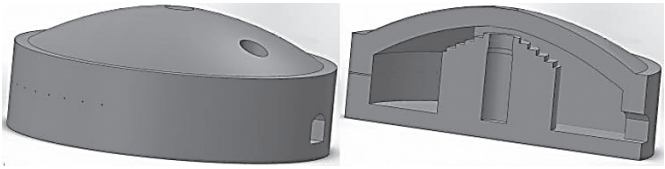


Рис. 2. 3D модель печи после модернизации.

Математическое моделирование в среде ANSYS Free Student Software позволит наглядно увидеть результат внедрения перечисленных изменений в конструкцию печи, а также проверить правильность проведённых в рамках работы расчётов.

Литература

1. Справ. изд. Под ред. Тымчака В. М. и Гусовского В.Л. М. Металлургия, «Расчет нагревательных и термических печей». 1983.

А.А. Чаймелов, асп.; рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПЛАВИЛЬНОЙ КАМЕРЫ РЕАКТОРА ПО ПЛАВЛЕНИЮ БАЗАЛЬТА

В настоящее время существенно развивается композитная отрасль. Во многих развитых странах, уже долгое время и с успехом применяют материалы из расплавов горных пород — базальтов. В России наблюдается возрастающий интерес к изделиям на основе базальтового волокна, обусловленный бурным развитием строительства и энергетических мощностей.

Благодаря своим уникальным свойствам, базальтовое волокно и продукция на его основе находит все более широкое применение во всех отраслях промышленности. Материалы на основе базальтового волокна выдерживают температуры до 700 0С, устойчивы к кислотам и щелочам, обладают значительной механической прочностью, благодаря чему успешно потеснили изделия из стекловолокна [1].

Но наряду с преимуществами, существует и ряд проблем, которые сдерживают развитие композитной отрасли в стране. Самой главной является большой расход энергии и габариты существующих печей (15–20 м).

В данной работе ставится задача расчета и моделирования зоны плавильной камеры реактора, который разработан на кафедре ЭВТ и имеет существенно меньшие габариты (2–5 м) [2]. Для этого потребуется провести ряд холодных экспериментов, с целью выяснения реальных размеров плавильной камеры разработанного устройства.

Литература

1. **Джигирис Д.Д.** «Основы производств базальтовых волокон и изделий»: учебник для вузов — М: Теплоэнергетик, 2002 г.
2. Патент №2695188 Российской Федерации МПК51 С03В 37/02 УСТРОЙСТВО ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ БАЗАДЬТОВЫХ ВОЛОКОН/
3. **Назаров М.Н., Строгонов К.В.;** заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ») — №2018121113; заявка от 07.06.18; опубл. 22.07.2019

В.А. Усанов, студ.; рук-ли И.М. Бернадинер, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);
А.В. Стародумов, рук. отдела (ОКБ им А. Люльки — филиал ПАО «ОДК-УМПО»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ ПОЛНОТЫ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В современном мире авиация играет большую роль в жизни страны. Коммерческая авиация обеспечивает экономическое развитие государства, путём перевозки пассажиров и грузов. У военной авиации другие цели, она стремится обеспечить безопасность граждан, защитить суверенитет государства.

Для обеспечения всех требований, предъявляемой современной авиации, ей необходимы мощные и надёжные двигатели. Чтобы этого добиться двигателю нужно сильное «сердце», которым выступает камера сгорания. Однако у современных камер сгорания газотурбинных двигателей существуют определённые недостатки. К таким недостаткам относятся: осевая и радиальная неравномерности поля распределения температуры, неравномерность давления на выходе из камеры сгорания и охлаждение жаровой трубы, в которой и происходит процесс горения.

Исходя из всего вышесказанного, для более эффективной работы двигателя, необходимо произвести комплекс мероприятий по устранению этих недостатков. Одним из них выступает изменение конструкции камеры сгорания, к примеру, изменение геометрии жаровой трубы или установка топливной форсунки с другим методом распыления керосина. А также изменение процесса горения: изменение коэффициента расхода воздуха, изменение пропорций потоков воздуха идущих в первичную и вторичную зоны горения.

Однако, внесение данных изменений в двигатель и дальнейшее испытания потребуют больших финансовых затрат, поэтому это целесообразно выполнять в программах трехмерного численного моделирования. Такие программы позволяют в кратчайшие сроки выполнить весь объём работ без использования натурных испытаний, а результаты получаются достаточно точными.

В программном комплексе Star-CCM+ планируется исследовать работу камеры сгорания при изменении конструкции форсунки. Также, для сравнения технических и экономических показателей планируется замена топливной форсунки на газовую горелку, и перевод двигателя АЛ-41Ф-1С на другой вид топлива, с целью создания перспективной ГТУ для работы на энергетических объектах.

А.С. Попов, студ.; рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ПОГРУЖНОГО ГОРЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА

Производство композитных материалов на основе базальтовых волокон в мире только начинает свое развитие. Базальтовые изделия и материалы обладают высокой исходной прочностью, стойкостью к воздействию агрессивных сред, долговечностью. Базальт является природным экологически чистым материалом.

Традиционно плавление базальтовых пород осуществляется в ванных печах, где теплопередача к шихте происходит непосредственно излучением от факела горящего газа. Недостатком данной печи является чрезмерное потребление энергетических ресурсов, которые достигают более 50000 кДж на 1 кг расплава.

Метод получения базальтового волокна при помощи барботажа дымовых газов в расплаве с помощью погружных горелок, работающих на газообразном топливе, позволит уменьшить чрезмерное потребление топлива. Коэффициент использования теплоты сгорания топлива в этом методе достигает 95–96%. Топливо с окислителем сжигаются непосредственно в толще расплавного материала. Высокотемпературное барботажное горение внутри расплава создает сложную структуру, состоящую из газа, жидкости и твёрдых частиц, которые проходят стадии нагрева и плавления. В ванне расплава благодаря относительно малым габаритам расплавляемого материала образуется большая поверхность тепло- и массопереноса между продуктами сгорания и перерабатываемым материалом. Интенсивное перемешивание расплава увеличивает скорость плавления, а также степень однородности технологического продукта [1].

Цель данной работы произвести расчет погружных горелок для предложенного на кафедре ЭВТ реактора [2], в котором применяется принцип погружного сжигания топлива. В результате расчетов количество необходимого количество газа для плавления 1 кг базальта составляет 0,134 м3. В сравнение с традиционным способом плавки при одинаковых параметрах печи расход примерно составляет 0,414 м3 на 1 кг базальта.

Литература

1. **Pioro, I. L., Pioro, L. S., Rue, D, and Khinkis, M.,** 2012. Advanced Melting Technologies with Submerged Combustion. 73rd Conference on Glass Problems, Cincinnati, OH, USA, October 1–3, Paper # 101657, 21 pages.
2. Патент №2695188 Российской ФедерацииМПК51 C03B 37/02 УСТРОЙСТВО ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН/Строгонов К.В., Назаров М.Н.; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ») — №2018121113; заявка от 07.06.2018; опубл. 22.07.2019 Бюл.№21.

В.В. Усов, студ. рук-ли: С.Н. Петин, к.т.н. доц.;
В.С. Дубинин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРОПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ КОТЕЛЬНОЙ

В условиях практически монопольного производства электрической и тепловой энергии генерирующими компаниями РФ и неуклонного роста цен на энергоносители, в условиях конкурентной экономики со стороны малых и средних промышленных производителей возрос интерес к альтернативной энергетике (мини-ТЭЦ) на базе различных когенерационных энерготехнологий.

В данной работе сравниваются разные способы модернизации существующей паровой котельной с использованием когенерационных установок. Особое внимание уделяется использованию паропоршневых технологий. Существующие паропоршневые двигатели могут быть использованы на модернизируемой котельной для выработки электроэнергии для нужд самой котельной, т.е. для внутреннего освещения, для привода основного электрогенератора [1, 2]. В работе проводятся технико-экономический расчет использования паропоршневых двигателей для привода вспомогательного оборудования котельной работающей с котлами ДКВР-10–13 [3]. Практически все вспомогательное оборудование котельной приводится в движение паропоршневыми двигателями, а электрогенератор с паропоршневым двигателем вырабатывает электроэнергию только для КИП и А и освещения.

Результаты работы показывают, что в существующей котельной при использовании паропоршневых двигателей можно получить необходимую мощность электроэнергии для работы электрического оборудования.

Литература

1. **Дубинин В.С., Лаврухин К.М., Титов Д.П.** Перспективы применения паропоршневых двигателей для привода вспомогательного оборудования котельных. — Тезисы докладов международной научно-практической конференции «Малая энергетика 2003» 11–14 ноября 2003 г., г. Обнинск.
2. **Жигалов В.А.** Тепловая электростанция с поршневой паровой машиной // Новости теплоснабжения — 2017 — №2.
3. **Роддатис К.Ф., Полтарецкий А.Н.** Справочник по котельным установкам малой производительности. — М: Энергоатомиздат, 1989. — 488 с.

А.В. Петрова, Т.Н. Чернова, студентки;
рук. И.М. Бернадинер, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Из твердых коммунальных отходов можно извлечь полезные фракции (стекло, пластик, бумага и т.д.) и переработать, но все равно остается смешанный мусор, который придется утилизировать. Если раздельный сбор так и не будет широко распространен, эти технологии тем более нужны, и в гораздо больших масштабах. Наконец, есть огромные свалки, площадь которых достигает размеров некоторых Европейских стран. Рассортировать их невозможно, они продолжают уродовать и отравлять окружающую среду.

В рамках работы проводится исследование разных типов переработки смешанных отходов, таких как сжигание, пиролиз и газификация, плазменные технологии, способы, которые уже используются во многих странах и те, что находятся на стадии исследований и экспериментов или узкоспециализированы.

Сжигание заключается в огневой окислительной обработке отходов продуктами сгорания дополнительного топлива. При этом токсичные органические компоненты подвергаются полному окислению с образованием CO_2, H_2O, N_2, а минеральные составляющие извлекаются в виде твердых продуктов или расплава.

Пиролиз — процесс термического разложения органических отходов без доступа окислителя, в результате которого образуются твердый углеподобный остаток и пиролизный газ, содержащий высококипящие смолообразные вещества. При низких температурах пиролиза (около 400–600°C) образуется больше жидких смолообразных продуктов, а при высоких (около 700–900 °C) — больше газообразных продуктов.

Газификация — процесс термической обработки органических отходов окислителем (воздухом, кислородом, водяным паром, углекислым газом или их смесью) при коэффициенте расхода воздуха $\alpha<1$, с получением генераторного газа (синтез-газа) и твердого или расплавленного минерального продукта.

Эти и другие процессы подробно рассмотрены, обозначены преимущества и недостатки каждого. В итоге, после анализа всей информации будет выявлен наиболее оптимальный способ переработки.

К.А. Родионова, студ.; рук. И.М. Бернадинер, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ КОФЕЙНОГО ШЛАМА

В современном мире остро стоит проблема утилизации различного рода отходов. Проблема загрязнения окружающей среды приобретает глобальный характер. В работе рассмотрен вопрос утилизации пищевых отходов, а именно кофейного шлама (КШ). Сбор и утилизация пищевых отходов являются одной из приоритетных задач, направленной на снижение и предотвращение негативного воздействия на объекты окружающей среды.

Целью работы было рассмотрение процесса сжигания КШ в котельном агрегате ДКВР-10–13, подача отходов в котел производилась с помощью пеллетной горелки. Для решения задачи в работе представлена и разработана технологическая схема утилизации КШ и использования полученного энергетического продукта (топливные гранулы). Выполнен расчёт материального и теплового баланса процесса горения отходов производства кофе.

В ходе работы был проведен ряд экспериментальных исследований. Предварительно проба КШ была высушена и взвешена. Исходный вес пробы составлял 18 грамм. Процесс сушки производился в бытовом сушильном шкафу при температуре 150 °С и по времени составил 90 минут. По завершении эксперимента вес пробы уменьшился до 7 грамм.

Определение теплоты сгорания КШ осуществлялось в калориметре С 2000 basic. Во время определения высшей теплотворной способности контроллер управляет всеми фазами процесса измерения. На дисплее отображается текущее состояние системы и результаты измерений. Для обеспечения бесперебойной работы устройства контроль происходит непрерывно. В случае возникновения неисправности на дисплей выводится соответствующее сообщение. Результаты измерения и параметры эксперимента сохраняются в памяти контроллера для возможности их дальнейшей распечатки. Проведение эксперимента проводилось в строго определенных условиях. Для этого в тигель помещалась предварительно высушенная и взвешенная проба КШ; проба поджигалась и измерялся рост температуры внутри сосуда для разложения. Теплота сгорания изучаемых отходов составила 22,03 МДж/кг, следовательно, кофейный шлам — высококалорийное топливо, сравнимое по теплоте сгорания с каменным углём. Можно сделать вывод о том, что КШ целесообразно использовать в качестве топлива в котельном агрегате. Таким образом, возможно полностью отказаться от органического топлива.

Н.В. Мурманцев, студ.; рук. Т.А. Степанова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАНОЛА ИЗ ОТХОДОВ

Метанол — (метиловый спирт, CH3OH) используется в нефтеперерабатывающей, химической промышленности, а так же в качестве источника энергии. В России в 2018 г. суммарные мощности по выпуску метанола составили 4.47 млн т., ежегодно они растут на 5.5% [1]. Известно несколько способов получения метанола: паровой и комбинированный риформинг, получают его и из синтез-газа.

Известно, что синтез-газ может получаться посредством газификации ТКО, а это перспективно, особенно учитывая то, что в Москве и Московской области остро стоит проблема утилизации мусора. Получение энергоресурсов из ТКО для региона не столь актуально, в силу хорошего энергоснабжения указанного региона.

Были произведены расчеты воздушной газификации при различных условиях. Как показали расчеты, нужное соотношение CO и H_2 1:2 можно получить при α=0.62 (см. рис.). Это говорит о возможности получения синтез-газа нужного для получения метанола.

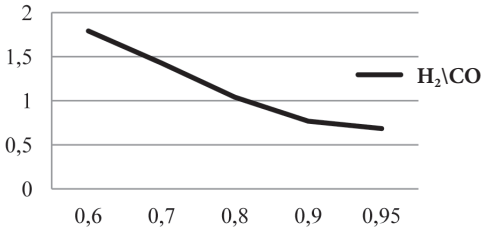


Рис. 1. График зависимости отношения H_2\CO от α при воздушной газификации ТКО

Литература

1. **С.В. Афанасьев, Д.И. Трофимов, С.П. Сергеев.** Технология переработки углекислого газа в метанол,2016.
2. **М.М. Караваев, В.Е. Леонов, И.Г. Попов, Е.Т. Шепелев.** «Технология синтетического метанола».: Химия, 1984. 239 с.
3. **А.С. Алешин, В.В. Сергеев.** Газификация твердого топлива 2010. — 202с

А.В. Грошева, студ.; рук. Р.Н. Габитов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

В связи с постепенным истощением природных источников сырья для всех отраслей народного хозяйства особую актуальность имеет максимально возможное использование всех видов отходов, в том числе твердых коммунальных отходов (ТКО).

Одним из перспективных методов утилизации ТКО является термический метод с использованием слоевых установок. Чтобы оценить функционирование таких установок необходимо провести детальный анализ процессов тепломассообмена, протекающих в рабочем пространстве. Важной задачей является определение эффективных теплофизических свойств слоя ТКО, представляющего собой многокомпонентное пористое тело.

В рамках работы проведено расчетно-экспериментальное теплофизическое исследование, основанное на обработке экспериментальных данных методом обратной задачи теплопроводности (ОЗТ). В основу предлагаемого решения ОЗТ положен численно-аналитический метод дискретного удовлетворения краевых условий [1]. Была проведена серия экспериментов по нагреву образца слоя предварительно высушенных ТКО среднего морфологического состава [2]. Порозность в экспериментах изменялась от 0,5 до 0,7. Полученные решением ОЗТ температурные зависимости эффективного коэффициента температуропроводности показаны на рис. 1.

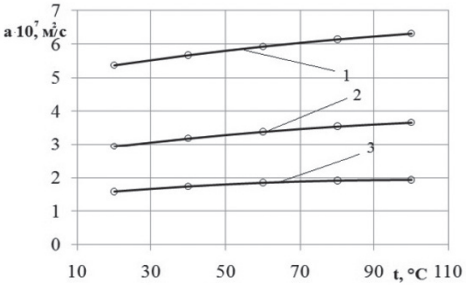


Рис. 1. Зависимости эффективного коэффициента температуропроводности от температуры при различных значениях порозности слоя ТКО: 1–0,7; 2–0,62; 3–0,5

Литература

1. **Бровкин Л.А.** Температурные поля тело при нагреве и плавлении в промышленных печах / Л.А. Бровкин. — Иваново: ИЭИ, 1973. — 364 с.
2. Термическая утилизация твердых бытовых отходов. Концепция НИИСтромкомпозит [Текст]. Красноярск: 2006. — 15с

Л.В. Корнилова, студ.; рук. К.В. Строганов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРЯМОГО ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ САЖЕВОДОРОДНОЙ СМЕСИ (СВС) КАК ТОПЛИВА — ВОССТАНОВИТЕЛЯ

Развитие процессов прямого получения железа и стали является актуальной задачей ввиду сокращения запасов коксующегося угля и увеличения его стоимости, а также необходимости решения экологических проблем, путём создания энергоэффективных и безотходных технологий. Особое внимание разработчиков новых технологий в последнее время уделено безкоксовым и непрерывным процессам.

Известна классификация рудовосстановительных процессов [1]:

Топливо и восстановитель	Последовательность операций	
	Восстановление-плавление	Плавление-восстановление
Уголь	Доменная плавка	РОМЕЛТ
Природный газ	МИДРЕКС	
	Твердофазное	Жидкофазное
	Тип восстановления	

Как видно, свободная ниша — алгоритм, без рассмотрения которого невозможно судить о наиболее эффективном процессе черной металлургии. Расчеты и сравнение показателей при использования СВС (75% C + 25% H_2) и углей (75% C + 25% A) в жидкофазном процессе [2], показывают, что применение природного газа позволит в 2–3 раза сократить удельный расход топлива и восстановителя, то есть технология с использованием СВС является наиболее энергоэффективной.

В данной работе был рассмотрен метод использования СВС для жидкофазного восстановления, изучены химические процессы и свойства образования углерода и водорода при высоких температурах нагрева метана, процессы восстановления продуктами распада газа. Предлагается новый реактор непрерывного получения стали, который создаёт СВС и использует её в качестве восстановителя.

Литература

1. **Картавцев С.В.** Интенсивное энергосбережение и технический прогресс черной металлургии: Монография. — Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. — 311 с.
2. **Нешпоренко Е.Г., Картавцев С.В.** Вопросы энергоресурсосбережения при извлечении железа из руд: Монография. — Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. — 153 с.

М.Ч. Кара-Сал, студ.; рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

НАГРЕВ ЗАГОТОВОК В НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ

Нагрев различных материалов, заготовок и изделий широко распространён в промышленности [1]. При окислительном нагреве среда содержит свободный кислород, приводящее к образованию на поверхности слоя окалины — смеси оксидов металлов и примесей различных степеней окисления [2]. В нагревательных печах заготовки нагревают до температуры прокатки (1150÷1250 °С), проводят очистку образовавшейся окалины с помощью гидросбива и отправляют на прокатку на соответствующий стан. Основными недостатками данного способа являются потери металла с угаром, интенсивное окалинообразование, повышенный износ валков и неравномерность нагрева заготовки по длине и сечению [3].

Существует другой способ нагрева заготовок — индукционный нагрев заготовок [4]. Комбинация двух технологий нагрева металлических заготовок принята в патенте [3]. Заготовку предлагается нагревать в методической печи до температуры 800 °С, далее нагревать до температуры прокатки (1150°С) в индукционной установке с кожухом, заполненной инертным газом и футерованным теплоизоляционным материалом.

В качестве примера рассчитывается печь с шагающими балками для нагрева сортовых заготовок 100×100×12000 мм, с производительностью 100 т/ч. При этом расчеты показывают, что время нагрева до температуры 1150°С составляет 1,88 ч, расход топлива — 2288 м^3/ч и потеря металла в печи с окалиной и угаром — 1,7%.

При совмещении газового нагрева в печи до 800 °С и догрева заготовки в индукционной установке с защитной атмосферой до 1150 °С потеря металла с окалиной по данным [4] составит 0,5%, кроме того отсутствует перепад температур по сечению заготовки.

Литература

1. **Тайц Н.Ю., Розенгарт Ю.И.** Методические нагревательные печи. М. 1964. — 7–8,12 стр.
2. Высокотемпературные теплотехнические процессы и установки: Учеб. для вузов/ под ред. А.Д. Ключникова. — М. Энергоавтомиздат, 1989. 336с.
3. **Строгонов К.В., Носов А.Д., Бирюков А.В.** Патент «Способ нагрева заготовок на сортовых и проволочных станах». 2010.
4. **Бааке Э., Йорн У., Мюльбауэр А.** Энергопотребление и эмиссия СО2 при промышленном технологическом нагреве / пер. с нем. под ред. В.Б. Демидовича. — Essen: Vulkan-Verlag, 1997. — 173 с.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ЛЕСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

На сегодняшний день одной из глобальных проблем охраны окружающей среды является вырубка лесов и последующее неиспользование древесных отходов. Множество деревообрабатывающих предприятий после выполнения работ оставляют около 25–40% отходного древесного материала, дальнейшая судьба которого неизвестна [1]. При этом в древесных отходах содержится значительное количество полезных веществ, как показано в таблице 1, которые можно использовать в дальнейшем.

Табл. 1. Состав древесины

Порода деревьев	Элементный состав древесины, %				Выход летучих на горючую массу, %	Теплота сгорания на горючую массу, кДж /кг
	C	H	O	N		
Хвойные	51,0	6,15	42,2	0,6	85	19 079
Лиственные	50,5	6,10	42,8	0,6	85	18 660
Смешанные	51,0	6,10	42,3	0,6	85	18 870

На современных предприятиях во многих странах мира предусматривается полное использование отходов для производства энергии, однако Россия в этом отношении находится в самом начале пути [2].

Отходы лесоперерабатывающей промышленности, топливные гранулы, брикеты и прочие виды биомассы могут представлять собой высокоэффективное и экономичное топливо. Однако, из-за дешевизны и кажущейся бесконечности ископаемого топлива, энергетики только в последние годы начали обращать свое внимание на преимущества использования биотоплива.

В данной работе проведен литературный анализ различных способов переработки отходов лесоперерабатывающей промышленности и предложен альтернативный способ использования отходов, а также проведена экологическая оценка воздействия на окружающую среду.

Литература

1. **С.И. Головков.** Энергетическое использование древесных отходов. М. «Лесная промышленность»: 1987, 216.
2. **А.Н. Кривошеин.** Производство биотоплива в Европейском Союзе: политика, сертификация, критерии устойчивости. М.: 2016.

И.Р. Невмянов, студ.; рук. А.В. Тахасюк, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ БЛОЧНО-МОДУЛЬНАЯ КОТЕЛЬНАЯ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МИКРОРАЙОНА

При строительстве объектов жилищно-коммунального сектора, встаёт вопрос об источнике теплоснабжения. В ряде случаев ими выступают ТЭЦ или районные котельные, но в большинстве случаев это не осуществимо из-за их удалённости или загруженности, а иногда по причине их отсутствия. Так же, для централизованного теплоснабжения, известны сложности и проблемы, в том числе их технического состояния транспортируемых систем — тепловых сетей, изношенность которых является причиной не только больших потерь, но и снижения надёжности теплоснабжения. При централизованном теплоснабжении существенны затраты электроэнергии на транспортировку теплоносителя по тепловым сетям, т.е. имеет место перерасход топлива и перетапливание зданий в тёплые периоды отопительного сезона.

В последнее время, в связи с появлением на рынке большого разнообразия отопительного оборудования, в том числе небольших автоматизированных котлов отечественного и зарубежного производства, а также в связи с перечисленными выше условиями и недостатками централизованного теплоснабжения, можно сделать вывод об актуальности вопроса проектирования и строительства автономных источников энергии.

Целью данной работы является разработка тепловой схемы и подбора оборудования полностью автоматизированной блочно-модульной котельной, которая работает без обслуживающего персонала, предназначенная для покрытия тепловых нагрузок жилых зданий.

Литература

1. Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения, утвержденной заместителем председателя Госстроя России 12.08.03.
2. **Тихомиров К.В., Сергеенко Э.С.** Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция. — М.: Стройиздат, 1991. — 480 с.
3. **Ионин А.А., Хлыбов Б.М., Братенков В.Н., Терлецкая Е.Н.** Теплоснабжение. — М.: Стройиздат, 1982. — 214 с.

М.О. Шавитова студ.; рук. О.Б. Колибаба к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАМЕННОЙ ПЕЧИ

При термообработке мелких изделий их обычно загружают в печь в контейнерах, на поддонах или насыпью на подину печи. Садка, образованная большим количеством сравнительно мелких заготовок, габариты которой значительно превышают размеры отдельной детали, получила название насыпной садки [1]. Поскольку термообработка — одна из самых длительных и энергоемких стадий в производстве различных изделий, то необходимыми мерами по обеспечению экономии топлива и энергии, является внедрение энергосберегающих технологий и оборудования.

Эффективным способом интенсификации процесса нагрева насыпной садки является организация фильтрации продуктов горения через садку. Проникновение греющих газов между изделиями обеспечивает равномерный нагрев заготовок, снижение перепадов температуры и термических напряжений.

В работе рассмотрен вариант реконструкции проходной термической печи с подподовыми топками для нагрева насыпных садок. Предложено в поду печи равномерно над подподовыми топками в зоне перемещения поддонов выполнить каналы, как это показано на рис. 1. Образующиеся в результате сжигания газа в подподовых топках продукты сгорания через выводные каналы, выполненные в поду, поступают в насыпную садку, фильтруются через нее, интенсифицируя, таким образом, нагрев изделий.

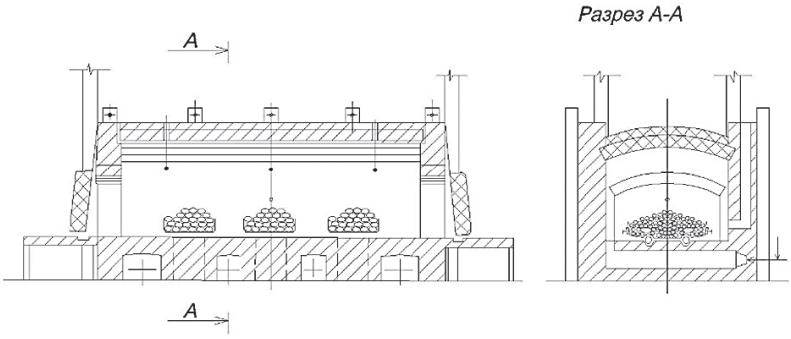


Рис. 1. Термическая садочная печь

Литература

1. **Бровкин Л.А.** Температурные поля тело при нагреве и плавлении в промышленных печах / Л.А. Бровкин. — Иваново: ИЭИ, 1973. — 364 с.

В.С. Храмцов, студ.; рук-ли В.И. Волков, к.тн., доц.;
А.В. Бурмакина, к. т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

В настоящее время процесс очистки промышленных сточных вод имеет большое экологическое значение. Повышение требований к качеству очищаемых стоков заставляет искать более эффективные и экологически безопасные способы удаления загрязнений из сточных вод. При этом вода играет решающую роль во многих процессах, протекающих в природе, и в обеспечении жизнедеятельности человека. В промышленности воду используют как сырье и источник энергии, как хладагент и растворитель экстрагент, а также для транспортирования сырья и материалов. **Основными веществами, загрязняющими воду, являются:** нефть и нефтепродукты, поверхностно-активные вещества, кислоты и щелочи, пестициды и гербициды, ядохимикаты, горюче-смазочные материалы и др.

В связи с чрезвычайным разнообразием состава, свойств и расходов сточных вод промышленных предприятий необходимо применение специфических методов, а также сооружений по их локальной, предварительной и полной очистке [1]. Очистка сточных вод промышленных предприятий заключается в устранении или уменьшении количества патогенных бактерий и токсичных химикатов.

Существуют различные методы очистки сточных вод: биологические, физические, химические, физико-химические. На основании проведенного литературного обзора самым эффективным методом является биологический, так как имеет наиболее высокий процент очистки. В этом методе используются бактерии и другие микроорганизмы для разложения органических загрязнений, то есть углеродсодержащих веществ, на безвредные или летучие соединения.

В сточных водах используются аэробные, анаэробные или оба типа микробов. Достоинства и недостатки биологической очистки частично зависят от происхождения сточных вод, типа загрязнения, а также применяемых методов. Некоторые методы, такие как мембранная фильтрация, после биологической очистки, могут улучшить результаты. Основным достоинством биологического метода очистки является его экологическая безопасность.

Литература

1. **Ветошкин А.Г.** Процессы и аппараты защиты гидросферы. Учебное пособие. Пенза, 2004.

И.А. Рузанов, студ.; Д.А. Долинин, соиск.;
рук. О.Б. Колибаба, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПИРОЛИЗНОГО ОСТАТКА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Высоко — и среднетемпературные теплотехнологические установки обычно требуют затрат большого количества энергии на процесс. При этом особое значение имеют меры, направленные на снижение тепловых потерь, в частности через футеровку. Для этой цели применяют различные теплоизоляционные материалы. В связи с этим, создание новых энергоэффективных теплоизоляционных материалов является актуальной задачей.

В рамках настоящей работы получен новый энергоэффективный материал, содержащий зольный остаток переработанных методом пиролиза твердых коммунальных отходов (ТКО), и проведено экспериментальное исследование его тепломеханических свойств.

В результате пиролиза смеси ТКО среднего морфологического состава [1] был получен пиролизный остаток, который использовался в качестве добавки к глине. Технология получения материала включала в себя следующие операции: приготовление смеси глины и пиролизного остатка с водой; прессование; сушка; обжиг; разрушение полученного образца с образованием порошка; приготовление смеси глины с образовавшимся порошком; повторная сушка и обжиг образцов.

В рамках экспериментальных исследований была проведена серия из десяти опытов, по результатам которых получены плотность, влагопоглощение, прочность и теплопроводность предлагаемого материала.

Значение плотности, определенное посредством измерения и взвешивания образцов, составило 1752,6 кг/м3. Влагопоглощение материала, найденное посредством выдерживания в воде в течение 48 часов, составило 15,35%.Разрушение образцов произошло при давлении 26,7 МПа.

Для определения коэффициента теплопроводности материала использовали метод неограниченного цилиндрического слоя [2].Зависимость коэффициента теплопроводности материала от температуры получена в виде:

$$\Lambda = 0{,}568 + 0{,}0008T$$

Литература

1. Термическая утилизация твердых бытовых отходов. Концепция НИИ Стромкомпозит [Текст]. Красноярск: 2006. — 15с.
2. **Осипова В.А.** Экспериментальное исследование процессов теплообмена [Текст] / В.А. Осипова. — М.: Энергия, 1969. — 390с.

П.А. Бочкарев, студ.: рук. Г.М. Катенев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРО-ТЭЦ НА ЭТАНОЛЕ, ДЛЯ АВТОНОМИЗАЦИИ РАБОТЫ МОБИЛЬНОГО ИНСИНЕРАТОРА

К 2019 году, в целях борьбы с проблемой роста количества органических отходов, а также проблемой экономической неэффективности стационарных крематориев, для утилизации отходов на удаленных расстояниях, присовокупив к этому также невозможность транспортировки некоторых из видов этих отходов, например, умерщвленного мором скота. В России, в частности, и в мире, в целом, получило распространение производство мобильных инсинераторов. Следующим этапом использования этих печей, для сжигания отходов, встал вопрос автономизации этих самых инсинераторных установок, лучшим решением для которой является Микро-ТЭЦ. [1]

Исходя из конечной температуры дымовых газов, на выходе из дымовой трубы инсинератора, производится расчет змеевикового теплообменника (дымовые газы — этанол). В расчете выявляется размер змеевикового теплообменника, его расположение на дымовой трубе, а также массовый расход этанола, конечная максимальная температура этанола T= 148°C, его термодинамические параметры. По температуре производится расчет Микро-ТЭЦ, в созданной Mathcad модели [2]. В результате, для инсинератора, с суммарной тепловой мощностью 105 кВт, рассчитывается Микро-ТЭЦ. Внутренний абсолютный КПД цикла Ренкина которой на этаноле η=8.36%. Конечная электрическая мощность ТЭЦ при Qном, Qээ тэц = 105КВт*8.36/100 = 8.78 КВт.

Литература

1. **Тауд Р.** Перспективы развития тепловых электростанций на органическом топливе М.: Теплоэнергетика, 2000.
2. **Знаменский В., Очков В.** Расчет цикла Ренкина на этаноле // Расчетный сервер МЭИ, 2014.

Д.Р. Голубовская, студ.; рук. И.М. Бернадинер, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА В УСТАНОВКЕ LOHC- ДЕГИДРИРОВАНИЯ

Научный и технологический прогресс в обращении с водородом в химически связанной форме в качестве жидкого органического водородного носителя (Liquid organic hydrogen carieer (LOHC)) позволяет сделать предположение, что будущая водородная экономика может работать без обработки больших объемов элементарного водорода. Системы LOHC состоят из обедненных водородом и богатых водородом пар органических соединений, которые накапливают водород при повторных циклах каталитического гидрирования и дегидрирования. В отличие от хранения водорода путем гидрирования газов, таких как CO2 или N2, выделение водорода из систем LOHC позволяет получить чистый водород после конденсации высококипящих соединений — носителей.

На базе университета Фридриха-Александра (г. Эрланген-Нюрнберг, Германия), на кафедре LTT (Lehrstuhl für Technische Thermodynamik) была разработана установка по LOHC-дегидрированию, состоящая из 4 основных блоков: блок подачи топлива, блок подачи LOHC, система горелка + реактор, блок рециркуляции и хранения LOHC и водорода. На данный момент проводятся испытания данной установки путем подбора оптимальных режимных параметров процесса, путем изменения расхода загружаемого LOHC, изменения мощности установки, а также введением катализаторов. На рисунке 1 представлена схема процесса хранения водорода с использованием системы LOHC [1].

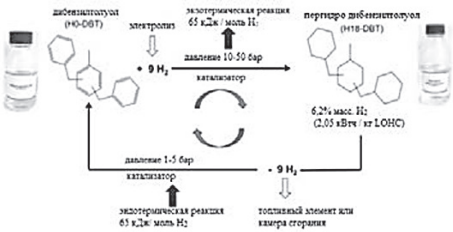


Рис. 1. Схема процесса хранения водорода с использованием системы LOHC

Литература

1. **Patrick Preuster, Christian Papp and Peter Wasserscheid.** Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHCs): Toward a Hydrogen-free Hydrogen Economy. Erlangen, Germany. 2016

П.А. Козлов, студ.; рук. А.В. Бурмакина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

Снижение загрязнения окружающей среды токсичными продуктами сгорания органических топлив является одной из важных проблем развития российской теплоэнергетики. Основными вредными веществами в продуктах сгорания являются: NO_x, SO_x, CO_x. К настоящему времени разработано большое количество методов снижения выбросов оксидов азота, как на стадии сжигания, так и на стадии охлаждения продуктов сгорания [1]. Следует отметить, что при внедрении существующих методов может наблюдаться не только снижение КПД котельной установки, но и сложности с регулированием технологических процессов. Поэтому анализ зависимостей содержания токсичных веществ от начальных параметров сжигания и начальных параметров топлива необходим для эффективного внедрения технологий.

Исследование показало, что на содержание NOx большое влияние оказывают содержание избыточного воздуха, температура сжигания и способ сжигания [2], рис. 1.

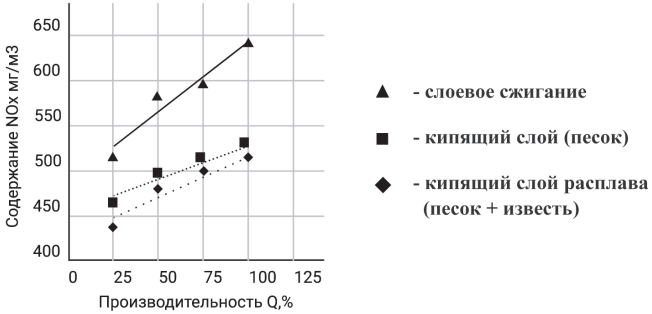


Рис. 1 Выбросы NO_x при различных способах сжигания

На основании литературного анализа можно сделать вывод, что выбросы оксидов меньше при сжигании топлива в кипящем слое.

Литература

1. **А.Б. Бирюков, И.П. Дробышевская, Ю.Е. Рубан.** Сжигание и термическая переработка органических топлив. Твердое топливо. Донецк: Ноулидж, 2014.
2. Методы сжигания твердых топлив // URL: https://msd.com.ua/teoriya-goreniya-i-topochnye-ustrojstva/metody-szhiganiya-tverdyx-topliv/ (дата обращения: 04.12.2019).

В.С. Королев, студ.; рук. Г.М. Катенев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АВТОНОМНЫЙ ИНСИНЕРАТОР С БЛОКОМ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА БАЗЕ УСТАНОВКИ С ОРГАНИЧЕСКИМ ЦИКЛОМ РЕНКИНА

Обезвреживание отходов — актуальная проблема современности. Одно из самых эффективных средств для обезвреживания отходов, придуманное человечеством — инсинератор. Это специализированное оборудование, предназначенное для утилизации отходов термическим способом. Главной его функцией является безопасное сжигание отходов на основе выпаривания воды и последующего полного высокотемпературного разложения и окисления органических веществ, что позволяет существенно уменьшить объём отходов.

В работе рассматривается возможность создания энергетически автономного инсинератора на базе действующей модели Volkan 150 фирмы Eco Spectrum, путем сопряжения с ней энергетического блока (микро-ТЭЦ), работающего по Органическому Циклу Ренкина (ОЦР). Микро-ТЭЦ вырабатывает электроэнергию и тепло на теплоте отходящих газов инсинератора (900–1100 °С), благодаря чему обеспечивается полная автономность работы утилизирующего агрегата. В работе были выполнены принципиальные расчеты предлагаемой модернизируемой схемы инсинератора: определены теплопроизводительность, место установки в дымовой трубе теплообменной петли микро-ТЭЦ для отбора тепла отходящих газов, а также площадь поверхности теплообменника. Был выполнен принципиальный термодинамический расчет ОЦР. Осуществлен подбор газовой горелки с неполным предварительным смешением (MaxGas 70 TC) для сжигания природного и сжиженного газа с низким выбросом в атмосферу загрязняющих веществ. Создание автономного инсинератора с блоком его полного энергообеспечения позволит наиболее эффективно утилизировать твёрдые бытовые отходы, отходы животноводства, что предотвращает ухудшение состояния окружающей среды.

Литература

1. ООО Эко-Спекрум «Высокотехнологичные системы сжигания отходов» Каталог продукции 2018 г.
2. Интернет-ресурс www.enertime.com компания ENERTIME, www.cycle-organique-rankine.com «Energy efficiency for waste treatment plant».

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

ТВЕРДЫЕ КОММУНАЛЬНЫЕ ОТХОДЫ КАК ОБЪЕКТ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Твердые коммунальные отходы (ТКО) представляют собой многокомпонентный пористый слой неопределенной структуры. При описании процессов, происходящих в ТКО, используют разные подходы, отличающиеся друг от друга внутренней структурой этих отходов и соответствующими ей эффективными теплофизическими свойствами.

Самыми распространенными структурными моделями являются:

1) Капиллярные модели, представляющие собой прямые или извилистые каналы постоянного или переменного поперечного сечения;

2) Модели из сферических частиц постоянного или переменного диаметров. Обычно такой подход используется при моделировании процессов, происходящих в порошковых пористых материалах;

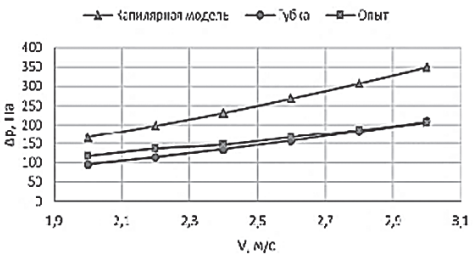
3) Фрактальная модель структуры ТКО на основе «губки Менгера».

Первые две модели имеют хорошо известные достоинства и недостатки. Что касается третьей модели, то её плюсом является простота в построении самоподобных элементов внутри каждого элемента, что делает эту структуру более похожей на слой ТКО.

К минусам данной модели можно отнести:

— Пространственную «бесконечность» фрактала. При компьютерном моделировании фрактала, которое оперирует конечными числами, существуют очевидные ограничения. Практика показывает, что использовать фрактальную структуру на основе губки Менгера можно только до 4-го уровня «погружения» т.к. при дальнейшем «погружении» увеличивается ресурсоемкость и время расчета.

— Дробную размерность фрактала, что требует введения новых уравнений, описывающих процессы переноса теплоты.



На рис. 1 представлено сравнение экспериментальной и расчетных зависимостей перепада давлений в слое ТКО от скорости движения газа. Лучшую сходимость с опытной кривой имеет модель, построенная на основе фрактала.

В дальнейшем предполагается использовать дробную размерность при описании процессов переноса теплоты и массы во фрактале.

К.С. Коченкова, студ.;
рук. Э.А. Ахметов к.т.н., доц. (ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань)

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЧАСТНОГО ДОМА

Текущие тарифы на тепловую энергию, стоимость подключения к городским тепловым сетям, а также особое внимание к экологии заставляют частный сектор все чаще задумываться об альтернативных методах теплоснабжения. В данном сегменте насчитывается довольно много конкурирующих технологий, основанных на применении различных видов топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в стране. Поэтому задача выбора наиболее экономичных из них становится все более актуальной.

Замена традиционного ископаемого топлива на тепло альтернативных источников с помощью тепловых насосных установок (ТНУ) помогает практически решить проблему загрязнения окружающей среды и способствует энергоресурсосбережению. Однако перед установкой теплового насоса (ТН) для теплоснабжения частного дома необходимо произвести оценку экономической эффективности проекта применения ТНУ, то есть осуществить исследование, основанное на методе сравнения.

Сопоставив полученные капительные затраты и эксплуатационные расходы на реализацию альтернативных вариантов систем теплоснабжения (котлы на твердом, жидком и газообразном топливе, а также электрический котел) было выявлено, что проект с использованием ТН является экономически неэффективным. Дисконтированные расходы за период 10 лет по варианту системы отопления с газовым котлом на магистральном природном газе на 21% ниже, при среднем ежегодном повышении тарифов на природный газ. Показателем экономической эффективности проекта будет являться наименьшее значение дисконтированных затрат, равных сумме капитальных затрат и приведенных эксплуатационных расходов по данному варианту [1].

Исследование показало, что программа внедрения ТН для теплоснабжения частного дома найдет наибольшее высокоэффективное применение в негазифицированных районах РФ. С экономической точки зрения конкурентоспособна будет и разработка комбинированной системы теплоснабжения частного дома на базе ТН. Кроме того реальный механизм стимулирования энергосбережения и защиты окружающей среды должен быть направлен скорее на производителей оборудования.

Литература

1. **Филиппов С.П., Дильман М.Д., Ионов М.С.** Перспективы применения тепловых насосов в России // Энергосовет. 2011. №5. С. 42–45.

А.В. Коровяковский, асп.; рук. С.К. Попов, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

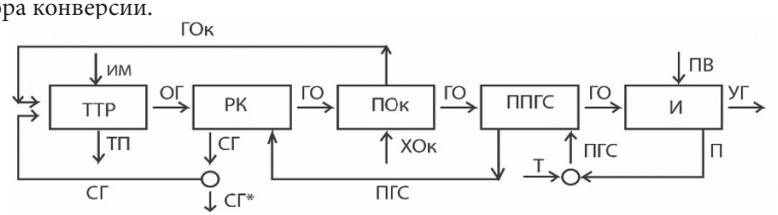
МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАКЦИОННОГО ЭЛЕМЕНТА РЕАКТОРА КОНВЕРСИИ

Многие отрасли промышленности характеризуются крупномасштабным и одновременно неэкономным потреблением энергетических ресурсов, что увеличивает конечную стоимость продукции и оказывает негативное влияние на состояние окружающей среды.

В качестве объекта исследования выбрана ванная стекловаренная печь, работающая на природном газе. Одним из вариантов повышения ее энергоэффективности является термохимическая регенерация (ТХР) теплоты отходящих газов на основе каталитической конверсии природного газа. Тепловая схема стекловаренной печи с ТХР представлена на рисунке 1.

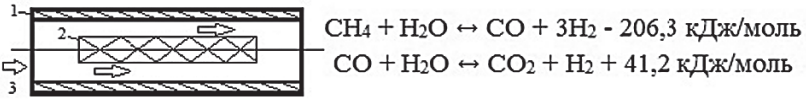
Целью данной работы является разработка и исследование математической модели трубчатого реакционного элемента (рисунок 2). Такие элементы составляют теплообменную поверхность реактора конверсии Моделирование выполнено в программной среде Phoenics. Принято, что определяющими являются реакция паровой конверсии метана и реакция водяного сдвига.

Разработанная модель позволяет исследовать зависимость степени конверсии природного газа от конструктивных и режимных параметров реакционного элемента. Полученные данные можно использовать для разработки конструкции реактора конверсии.



ТТР — теплотехнологический реактор; РК — реактор конверсии; ПОк — подогреватель окислителя; ППГС — подогреватель парогазовой смеси; И — испаритель;; ОГ — отходящие газы; ГО — газовые отходы; УГ — уходящие газы; ИМ — исходный материал; ТП — технологический продукт; СГ — синтез-газ; ГОк — горячий окислитель; ХОк — холодный окислитель; Т — топливо; П — пар; ПГС — парогазовая смесь; ПВ — питательная вода

Рис. 1. Тепловая схема стекловаренной установки с ТХР



1 — металлическая труба;
2 — каталитическая вставка; 3 — направление движение среды.

Рис. 2. Схема реакционного элемента

Д.Д. Голдобин, студ.; рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА В СИСТЕМАХ МУЛЬТИГЕНЕРАЦИИ

Повышение энергетической эффективности производства энергоносителей возможно по пути мультигенерации. Мультигенерация — это совмещенное одновременное производство на объекте генерации не менее двух энергоносителей, а также иных полезных продуктов, из единственного первичного энергоносителя [1].

Водород является перспективным произведенным энергоносителем, использование которого приводит к повышению КПД высокотемпературных процессов.

Базирование экологически чистой водородной энергетики на действующих способах производства водорода невозможно, так как затраты на производство водорода действующими способами превосходят энергию получаемого водорода. Перспективными концепциями производства водорода являются атомноводородная энергетика и возобновляемые источники энергии [2].

В работе при использовании водорода повышается эффективность тепловой электростанции (ТЭС), показано, что перевод ТЭС в режим мультигенерации выгоднее нынешнего режима работы почти в 2 раза. Производство водорода при использовании производственных и теплофикационных отборов в периоды отсутствия тепловой нагрузки теплофикационных турбин позволит уменьшить удельный расход топлива на производство водорода в среднем за год, примерно, на 7%. С учетом перехода с традиционных автомобилей на экологически чистые водородные автомобили, режим мультигенерации выгоднее в 1,27 раза.

Полученные результаты могут рассматриваться как доказательство термодинамического и экономического преимущества использования режима мультигенерации на объектах генерации и выступать предпосылкой для перехода с традиционного автотранспорта на водородный.

Литература

1. Основы мультигенерации: учеб. Пособие / А.В. Клименко, В.С. Агабабов, А.В. Корягин, С.Н. Петин, А.А. Коршикова, П.Н. Борисова. — М: Изд-во МЭИ, 2019.
2. **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).

И.И. Феоктистов, студ.; рук. А.А. Валинеева, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

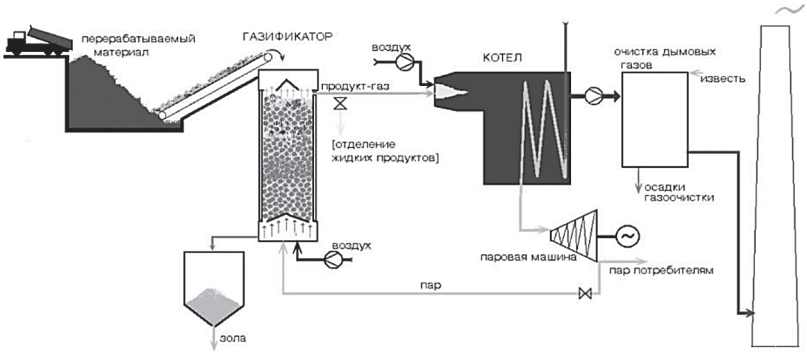
МЕТОДЫ ГАЗИФИКАЦИИ ТКО

Твердые коммунальные отходы (ТКО) являются отходами непроизводственной сферы, образующимися в результате бытовой деятельности населения. Они состоят из изделий и материалов, непригодных для дальнейшего использования в быту.

Существует несколько способов утилизации отходов: захоронение, компостирование, переработка вторсырья, сжигание, газификация.

Газификация характеризуется практически нулевым уровнем выбросов по сравнению с традиционным сжиганием отходов, а побочные продукты газификации (азот, аргон, сера и шлак) являются безопасными для окружающей среды. Процесс газификации представляет собой процесс частичного окисления, в результате которого горючие отходы преобразуются в синтез-газ.

Я предлагаю воспользоваться следующим способом газификации. Перерабатываемое сырье загружается в реактор сверху через шлюзовую камеру. Снизу подаются воздух и водяной пар. Отбор продукт-газа происходит в верхней части реактора, а выгрузка зольного остатка — в нижней. Продукт-газ используется как топливо в котле, пар из которого после паровой машины частично отбирается обратно на газификацию.



Литература

1. **Р.Ш. Загрутдинов, В.Н. Негуторов** Подготовка и газификация ТБО в двухзонных газогенераторах прямого процесса // Ползуновский вестник №4/3 2013.
2. **В.Ю. Безруких, А.И. Авласевич** Установка по обезвреживанию бытовых отходов методом газификации // Вестник КрасГАУ. 2016. №7.
3. **Е.С. Семин, О.В. Самышева** Способ термической переработки несортированных твердых бытовых отходов // Патент RU 2437030. 2013.

В.А. Блудчий, студ.; рук. Д.И. Борисенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ САМОНАГРЕВАНИЯ УГЛЯ НА ТЭС

Повышение энергетической эффективности является одним из важнейших направлений по снижению производственных затрат на тепловых электростанциях. Необходимость увеличения дополнительной прибыли, при постоянном росте цен на энергетические ресурсы, ставит задачу по поиск источника энергии, на данный момент не имеющий применения. Таким источником может служить теплота самонагревания угля.

Самонагревание угля — процесс естественного повышения температуры угля в результате его окисления [1]. На предприятиях, использующих уголь в качестве источника энергии, процесс самонагревания угля является неизбежным, более того, на его контроль и ликвидацию тратятся ресурсы, что приводит к определенным потерям.

Использование теплоты самонагревания угля, например для подогрева газообразного топлива, предоставляет возможность для получения выгоды из нежелательного процесса. Подогрев уменьшает вязкость газа, что снижает затраты на предварительную подготовку, и обеспечивает его подачу в камеру сгорания с характеристиками, близкими к оптимальным [2], при этом повышая энергетическую эффективность промышленного предприятия.

В перспективе, использование теплоты самонагревания угля предоставляет широкий спектр возможностей для применения в различных процессах тепловой электростанции, таких как подогрев сетевой и питательной вод, воздуха для котлов, различных видов топлив и др., приведет к снижению затрат энергетических ресурсов, позволит задействовать неиспользуемую в настоящее время теплоту, увеличивая энергетическую эффективность рациональным использованием энергоресурсов.

Увеличивая энергетическую эффективность, предприятие приобретает возможность для извлечения дополнительной прибыли, а также повышения конкурентоспособности.

Литература

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по предупреждению эндогенных пожаров и безопасному ведению горных работ на склонных к самовозгоранию пластах угля» // ФСЭТАН, 2016.
2. **Борисенко Д.И.** Эффективность распределения тепловой энергии в природе и технике: учеб. пособие. // МЭИ, 2019, 48 с.

Секция 34.
ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Председатель секции — Горелов Михаил Валентинович
Секретарь секции — Пурдин Михаил Сергеевич

Е.В. Почуева, студ.; рук. О.Е. Прун, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

В работе производится расчет тепло-гидравлических характеристик кожухотрубного теплообменного аппарата с различным количеством ходов по трубному и межтрубному пространству. Для поиска оптимальной конструкции теплообменника при заданном режиме работы используется целевая функция Z (1), включающая в себя тепловую мощность аппарата Q, суммарную электрическую мощность N, необходимую для прокачки теплоносителей, его массо-габаритные характеристики M (это может быть площадь поверхности теплообмена, объем, масса аппарата или площадь занимаемого им места) и коэффициент b, характеризующий соотношение ценности тепловой и электрической энергии. Ранее такая функция вводилась для оптимизации теплообменников в работах [1,2].

$$Z = (Q - b \cdot \Sigma N)/M, \quad (1)$$

Площадь поверхности теплообмена в расчетах составлял 30 м^2, расходы горячего и холодного теплоносителя 17,4 кг/с и 15 кг/с, их входные температуры соответственно 100 °С и 5 °С. Перечисленные величины в расчетах были постоянными. Изменялись такие параметры, как количество ходов по трубному пространству n_x от 1 до 6 и расстояние между сегментными перегородками h от 1 до 100 см. Далее проводились многократные поверочные расчеты методом эффективности и числа единиц переноса, в результате которых для каждой расчетной точки были получены величины Q, N и Z. Оптимальной считалась конструкция, соответствующая максимуму функции Z.

В результате расчетов получено, что для выбранного аппарата функция Z, не отнесенная к параметру M в формуле (1), слабо меняется в зависимости от числа ходов по трубам, но сильно зависит от h. Наибольшее значение Z = 3,04 МВт соответствует теплообменнику с n_x = 1 и h = 16–20 см. Однако если отнести Z к занимаемой теплообменником площади, оптимальной конструкцией (Z = 2,4 МВт/м^2) будет n_x = 6 и h = 9 см. При этом максимум функции Z для n_x = 6 в 2,7 раза превышает максимум функции Z для n_x = 1.

Литература

1. **А.Б. Гаряев, О.Е. Прун, А.В. Клименко.** Определение оптимального соотношения микроканальных теплообменных аппаратов. Теплофизика и аэромеханика, НИУ «МЭИ», 2015, Т. 22, №6. С. 10.
2. **О.Е. Прун, А.Б. Гаряев, И.В. Сынков.** Использование водоохлаждаемых газоходов в качестве теплоутилизаторов газоперекачивающих агрегатов. Вестник МЭИ. 2018. №3. С. 44–50.

Н.Д. Медведева, студ.; В.А. Кожевников, асп.;
рук. А.Б. Гаряев д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДА УДАЛЕНИЯ ПАРОВОЗДУШНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ЕМКОСТЯХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТИ

Целью исследования является разработка технологической схемы для сокращения потерь от испарения паровоздушной смеси (ПВС), образующейся в емкостях для хранения и транспортировки нефти, а также возможности ее полезного использования для нужд предприятия. Данные потери являются основными и занимают до 70% от общих потерь, связанных с нефтяной отраслью [1]. Состав ПВС, выходящей из резервуара, состоит в основном из 32% массовой доли углеводородов метанового ряда, 12% бензиновых фракций и 56% инертного воздуха [2]. При исследовании состава ПВС было определено, что горючие вещества составляют около 40% от всей смеси.

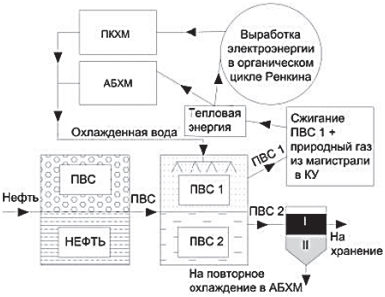


Рис. 1. Технологическая схема для удаления ПВС (I — жидкие уловленные углеводороды; II — смесь воды и жидких углеводородов).

В предложенной технологической схеме (рисунок 1) осуществляется разделение углеводородов на ПВС 1 (легкие углеводороды) и ПВС 2 (жидкие углеводороды) орошением ПВС холодными мелкодисперсными каплями воды, дальнейшие осаждение жидких углеводородов для возврата бензиновых фракций и использование легких углеводородов для производства теплоты в органическом цикле Ренкина для обеспечения предприятия электроэнергией на собственные нужды и на запуск парокомпрессионной холодильной машины (ПКХМ), и для создания холода в абсорбционной холодильной машине (АБХМ).

Экономия за счет использования технологии в год составляет 22,6 миллиона рублей. Данная технология требует дальнейшей проработки, проведения исследований и экспериментов.

Литература

1. **Данилов В.Ф., Шурыгин В.Ю.** К вопросу о решении проблемы потерь нефтепродуктов от испарения // Успехи современного естествознания. — 2016. — №3.
2. **Сальников А.В.** Потери нефти и нефтепродуктов: учеб. пособие. УГТУ, 2012.

Е.С. Рекуненко, асп.; рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЦЕЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ОРЕБРЕННЫХ РАДИАТОРОВ

При выборе геометрических параметров оребренного однотрубного радиатора, охлаждаемого естественной конвекцией воздуха, наибольший интерес представляют три задачи оптимизации.

1) Найти минимальную массу радиатора m при заданной передаваемой тепловой мощности Q.

2) Найти максимальную передаваемую тепловую мощность Q при заданной массе радиатора m.

3) Найти максимальное отношение Q/m на единицу длины трубки радиатора.

Во всех трех случаях можно использовать целевую функцию одного и того же вида F=Q/m [1], но с различными ограничениями. В третьем случае ограничения не накладываются, и функция имеет безусловный экстремум.

Данный подход справедлив при заданной и постоянной температуре наружной стенки радиатора, что выполняется, например, в радиаторах конденсаторов тепловых труб с воздушным охлаждением. При существенном изменении температуры для третьей задачи должна быть задана ее длина L.

Независимыми переменными являются толщина ребра, шаг между ребрами, а в первых двух задачах также и длина радиатора. На минимальную толщину ребра может быть наложено ограничение, связанное с технологией его изготовления. Постоянными параметрами при расчете являются температура поверхности несущей трубки (определяет коэффициент теплоотдачи), толщина несущей трубки и ее диаметр, плотность и теплопроводность материала трубки и ребер.

Предложен метод определения оптимальных геометрических параметров оребренного радиатора, при котором целевая функция вычисляется с использованием аппроксимационных зависимостей для эффективности круглых ребер и для функции, определяющей уменьшение коэффициента теплоотдачи при уменьшении шага между ребрами. Расчеты показали, что оптимальный шаг оребрения примерно совпадает по размеру с шириной области, на которой происходит смыкание пограничных слоев воздуха на соседних ребрах. Одним из главных факторов, определяющих значение максимума, является отношение толщин ребра и несущей трубки.

Литература

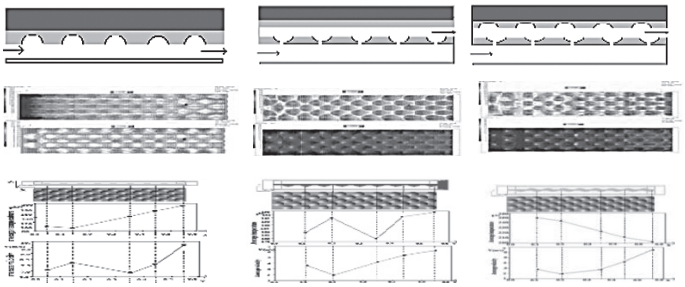
1. **Piotr Wais.** Fin-Tube Heat Exchanger Optimization // Heat Exchangers — Basics Design Applications. 2012. p. 343–366. ISBN: 978-953-51-0278-6.

Ву Си Ки, асп.; рук. В.С. Глазов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА В ФИЛЬТРУЕМОМ ОГРАЖДЕНИИ ВТУ С ВИХРЕВЫМИ ИНТЕНСИФИКАТОРАМИ ТЕПЛООБМЕНА

• Известно, что для увеличения срока службы наружного ограждения печи и снижения тепловых потерь через её стены применяют воздухопроницаемые материалы, используемые для подогрева воздуха, который фильтруется через них иохлаждает обмуровку печи [1]. Для интенсификации этого процесса (т.е. нагревания воздуха (идущего на горение) до более высоких температур; снижения тепловых потерь через наружное ограждение печи и вероятности пережогов) предлагается в фильтруемом /вентилируемом ограждении использовать интенсификаторы теплообмена.

• Исследованы три варианта возможного расположения лунок на поверхностях воздушных каналов в наружном ограждении печи (рис. 1). В 1-ом варианте воздух движется в канале между обмуровкой, на которой расположены лунки, и кожухом печи. Во 2-ом варианте воздух подается в канал между фильтруемой изоляцией, содержащей лунки с донным отверстием, и кожухом печи. При этом поверхность внутреннего канала со стороны обмуровки печи гладкая. В 3-ем варианте, в отличие от 2-го варианта, имеются луночные интенсификаторы теплообмена на поверхности обмуровки. Численное моделирование теплообмена для всех указанных вариантов выполнено в программе PHOENICS. Использованы следующие модели турбулентности: Chen_Kim ke Low Re в 1-ом варианте, Realisable ke во 2-ом и 3-ем вариантах. Лучшим вариантом среди рассмотренных оказался 3-ий вариант (вариант 1: $t''_{air1} = 175{,}6°C$; $Q_1^{out} = 26{,}7$ Вт; вариант 2: $t''_{air2} = 193{,}26°C$, $Q_2^{out} = 1{,}35$ Вт; вариант 3: $t''_{air3} = 200{,}62°C$; $Q_3^{out} = 1{,}27$ Вт).



1 вариант 2 вариант 3вариант

Рис. 1. Исследованные варианты фильтруемой изоляции печи

Литература

1. **Горюнова И.Ю.** Экспериментальные исследования процесса теплообмена в ограждении с фильтруемой изоляцией //Меж. вуз. сб., вып. 29, М.: МЭИ,1984, с. 89–94.

И.О. Одинцов, студ.; В.В. Понуровская, асп.;
рук-ли Е.В. Ежов, к.т.н., доц.; А.Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СВОЙСТ МОДИФИЦИРОВАННОГО УГЛЕРОДНОГО СОРБЕНТА

Целью работы является создание установки для получения данных о свойствах углеродного сорбента, используемого для очистки и утилизации фторуглеродных рабочих тел энергетических циклов. Одним из таких рабочих тел является элегаз, используемый как хладагент, и как изолятор в высоковольтной технике. В предложенной лабораторной установке используется адсорбент, сорбционная емкость которого по предварительным экспериментам равна 1.

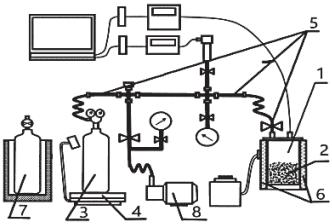


Рисунок 1. Принципиальная схема лабораторной установки.

Установка (рис. 1) решает следующие задачи: определение теплоты адсорбции сорбента, определение сорбционной емкости сорбента, определение скорости сорбции и десорбции, определение стойкости сорбента при многократном повторении циклов сорбции-десорбции.

Определение сорбционной емкости происходит весовым методом. В подготовленный адсорбер (1), заполненный сорбентом (2), поступает

элегаз из баллона (3). Эксперимент по сорбции закончен, когда прекращается падение давления в газовой системе (5).

Эксперимент по десорбции можно начинать после вакуумирования всей системы вакуумным насосом (8). Для этого необходимо включить манжетные нагреватели (6) и присоединить приемный баллон (7). Эксперимент закончится при прекращении изменения давления в системе.

В каждом опыте проводится измерение времени, давления в системе, температуры, массы баллона с газом. По изменению массы газа в баллоне на весах (4) можно судить о сорбционной емкости сорбента.

Работа поддержана грантом РФФИ №19-08-00308.

Литература

1. **Ягодовский В.Д.** Адсорбция // М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2015, 213 с.
2. **Киселев А.В., Древинг В.П.** Экспериментальные методы в адсорбции и молекулярной хроматографии // М.: Издательство МГУ, 1973, 448 с

А.В. Колотвин, асп., И.Д. Агафонов, студ.; рук. Е.В. Криницкий, к.т.н.

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИЙ НА ТЕПЛООБМЕН РАДИАТОРОВ ПАССИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

В условиях современных темпов развития технологий, все больше внимания требуется уделять оптимальным тепловым режимам работы сложных устройств. Теплообмен оребренной поверхности, в условиях свободной конвекции, нашел широкое применение во многих промышленных областях, таких как: микроэлектроника, электротехника, солнечная энергетика, и т.д. Одним из перспективных способов повышения теплоотдачи указанного процесса является создание относительного движения поверхности теплообмена и окружающей её среды посредством наложения механических колебаний [3].

В работе представлены экспериментальные исследования влияния вынужденных механических вертикальных колебаний на процесс теплопередачи от радиатора пассивного охлаждения в условиях свободной конвекции при различных параметрах вибраций.

В ходе эксперимента на горизонтально расположенный, алюминиевый радиатор, с односторонним расположением ребер, который подвергался нагреву с гладкой стороны с различной мощностью теплового потока, подавались механические колебания, возбуждаемые электромагнитным динамиком.

В результате исследования определены зависимости коэффициента теплоотдачи от характеристик колебаний. Исходя из опыта предыдущих исследований [1], диапазон частот был выбран 2–50 Гц, с соответствующим диапазоном амплитуд, а также различной мощностью вибродинамика. Также проведен анализ математического описания, как более ранних работ [4], посвящённых влиянию вынужденных колебаний в условиях свободной конвекции, так и недавних исследований [2], в входе, которого выявлены расхождения, а, следовательно, дефицитность экспериментальных и теоретических данных.

Литература

1. **Zena K Kadhim** Influence of vibration on free convection heat transfer from sinusoidal surface//International journal of computer applications. — 2016. — Vol. 136. — No. 4 — (0975-8887)
2. **Abdalhamid R.F.** Vertical forced vibration effect on natural convective performance of longitudinal fin heat sinks//Tikrit journal of engineering sciences. — 2013. — Vol. 20. — No. 2. — (60-69)
3. **Majid H.M.** A study of influence of vertical vibration on heat transfer coefficient from horizontal cylinders//Journal of engineering. — 2008. — Vol. 14
4. **Richardson P.D.** Analysis of Lowe»s measurements of effects of vibration on heat transfer// International journal of heat mass transfer. — 1974. — Vol. 17. — pp. 1118–1119

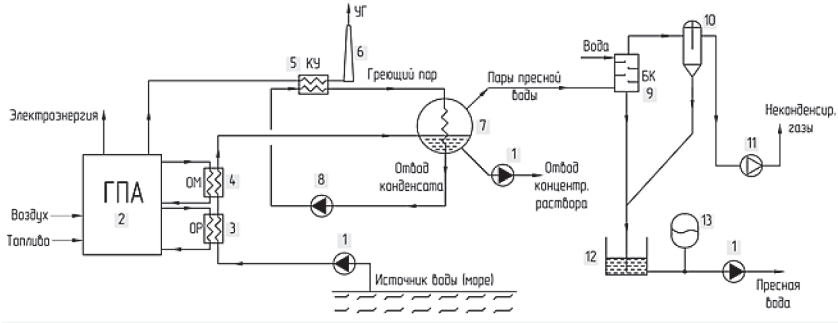
В.А. Гурьева, асп.; рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ ТРИГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕСНОЙ ВОДЫ

Сокращение затрат энергии и ресурсов на производство пресной воды — одна из важных задач для южных регионов, находящихся на морском побережье. Существенно сократить затраты можно за счет одновременного производства электроэнергии и пресной воды. Реализовать данный процесс позволяет большое количество различных схем установок. Но все они отличаются как составом основного оборудования, так и способом опреснения. Например, в одной из установок дистилляцию проводят с использованием АБХМ и солнечного коллектора [1], а в другой — с тепловым насосом [2].

В связи с этим стоит задача создания эффективных энергосберегающих схем установок для одновременной выработки электроэнергии и пресной воды, сопоставления и структурной оптимизации этих схем, а также определения оптимальных режимных и конструктивных параметров.

В работе предложен один из вариантов такой установки (рис. 1), где в качестве источника электроэнергии выбран газопоршневой агрегат. Такая схема позволяет получить 13,5 МВт электроэнергии и 360 м^3/сут пресной воды при расходе газа 450 нм^3/ч.



1 — насосная группа; 2 — газопоршневой агрегат; 3, 4 — охлаждение рубашки и масла; 5 — котел-утилизатор; 6 — дымовая труба; 7 — выпарная установка; 8 — циркуляционный насос; 9 — барометрический конденсатор; 10 — брызгоулавливатель; 11 — вакуум-насос; 12 — барометрический ящик; 13 — гидроаккумулятор; УГ — уходящие газы.

Рис. 1. Принципиальная схема предложенной установки:

Литература

1. **Ивонтьев И.А., Фирсова Е.В.** Опреснение воды с получением холода и электроэнергии // Современная техника и технологии. 2014. №1
2. **Малафеев И.И., Маринюк Б.Т.** Вакуумный теплонасосный дистиллятор, особенности работы и расчет // Холодильная техника. 2016. №3

Г.Р. Бадретдинова, Р.Р. Хусаинов, студенты;
рук. О.В. Соловьева, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ФИЛЬТРОВ С РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ ЧАСТИЦ

Проблема фильтрации воздуха и отработанных жидкостей является актуальной в связи с необходимостью уменьшения количества загрязняющих веществ, выбрасываемых в окружающую среду. Для того чтобы оптимизировать технологию фильтрации, важно рассчитывать производительность фильтра [1].

Уменьшение общего сопротивления и сохранение эффективности осаждения частиц является одной из основных задач исследований в области фильтрации. Известно, что чем больше значение пористости среды, тем меньше перепад давления. Значительно изменить пористость, меняя только размер и форму гранул, достаточно сложно, поэтому была предложена модель с пористыми гранулами. Были созданы геометрии твердотельных и пористых гранул диаметром 5 мм, из которых в дальнейшем формировалась область фильтрующей среды. Пористость фильтрующего слоя, состоящего из твердотельных гранул равна å = 0,6, общая пористость в модели фильтра, созданной набором пористых гранул составляет å = 0,92. Размер фильтрующей области равен 20 мм в диаметре и 20 мм в длину. Со стороны входа прикреплен патрубок длиной 10 мм, со стороны выхода патрубок длиной 30 мм. Общая длина модели составляет 60 мм. Расчеты были проведены в программном комплексе CFD ANSYS Fluent (v. 19.0).

Для проверки корректности результатов численного моделирования значения перепада давления сравнивались со значениями, полученными по экспериментальной формуле, предложенной в работе [2]. Результаты хорошо коррелируют для случая твердотельных гранул, но разнятся для пористых гранул. Эффективность осаждения частиц и перепад давления являются двумя основными параметрами в формировании коэффициента качества фильтра.

Исходя из расчетов, можно сказать, что предпочтительнее использовать фильтр с пористыми гранулами, так как коэффициент качества значительно выше у данного фильтра.

Литература

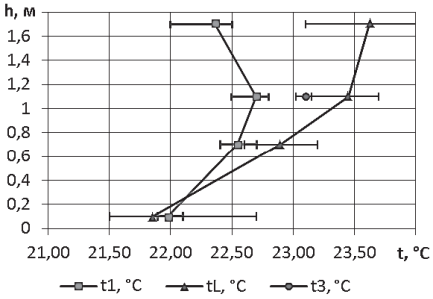
1. **Tien C.** Granular filtration of aerosols and hydrosols: Butterworths series in chemical engineering. M.: Butterworth-Heinemann, 2013.
2. **Ambrosetti M. et al.** Packed foams for the intensification of catalytic processes: assessment of packing efficiency and pressure drop using a combined experimental and numerical approach // Chemical Engineering Journal. 2020. T. 382.

Г.Н. Афонина, Д.А. Кругликов, аспиранты;
рук-ли В.С. Глазов, к.т.н., доц.; И.А. Султангузин, д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ»); В. Шютц, д.т.н., проф. (Бранденбургский технический
университет, г. Котбус/Зенфтенберг, Германия)

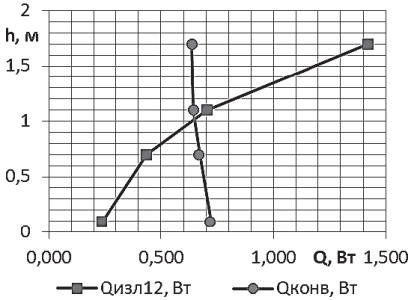
ЛОКАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМФОРТНЫХ УСЛОВИЙ В ПОМЕЩЕНИЯХ В ТЁПЛОЕ ВРЕМЯ ГОДА

В летнее время температура во многих офисных зданиях достигает высоких показателей, порядка 30°С. Для того, чтобы повысить комфорт в существующих зданиях, изучается целесообразность использования на рабочем месте охлаждающей плиты для создания локального микроклимата. Предметом исследования является процесс сложного (радиационно-конвективного) теплообмена в зоне охлаждающей плиты. Объект исследования — рабочее место в помещении лаборатории Бранденбургского технического университета.

В ходе эксперимента было определено локальное распределение температуры и скорости движения воздуха в зоне установки охлаждающей плиты, а так же влияние радиационных и конвективных потоков на самочувствие человека, находящегося в непосредственной близости от неё. Результаты измерений температур воздуха под охлаждающей плитой и расчёта тепловых потоков представлены на рис. 1.



а)



б)

Рис. 1. Результаты измерения температур (а) и потоков (б)

Установлено, что с увеличением расстояния головы человека от охлаждающей плиты результирующий поток излучения уменьшается, а тепловой поток от конвекции увеличивается. Кроме того, величина лучистого теплового потока значительно превосходит величину конвективного теплового потока вблизи охлаждающей плиты. Это означает, что благодаря именно излучению происходит охлаждение верхних частей тела человека, находящегося под охлаждающей плитой. Полученные в ходе опытов и расчётов значения удельных тепловых потоков излучения отвечают нормам для поддержания комфортных условий при локальном охлаждении.

В.Э. Зинуров, асп.; И.И. Хакимов, студ.; рук.
А.В. Дмитриев, д.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

РАЗРАБОТКА ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ ОТ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ

Очистка газовых потоков от мелкодисперсных частиц является значимой проблемой в настоящее время. В связи с ростом промышленных предприятий в мире (энергетических, нефтехимических, металлургических и др.) увеличиваются выбросы вредных веществ в воздушный бассейн, что приводит ко многим опасным заболеваниям у людей. Мелкодисперсные частицы проникают в легкие человека, где оседают и накапливаются. Зачастую, данные частицы представляют ценный материал, который можно использовать вторично. Таким образом исследование очистки промышленных газовых выбросов от мелкодисперсных частиц является актуальным, как с экологической, так и с экономической точек зрения.

В настоящее время в большинстве случаев для очистки промышленных выбросов используются различные модификации инерционных пылеуловителей. Однако, они обладают существенным минусом — эффективность очистки газовых потоков от частиц размером менее 10 мкм составляет не более 5–10%.

В связи с этим, авторами данной работы был разработан прямоугольный сепаратор, который предлагается использовать после инерционного пылеуловителя в качестве второй очистительной ступени [1]. Устройство представляют собой несколько рядов двутавровых элементов, заключенных в прямоугольный корпус. Особенностью сепаратора является расположение двутавровых элементов относительно друг друга внутри устройства, что позволяет увеличивать закручивание газового потока и эффективность очистки газа от мелкодисперсных частиц размером менее 10 мкм до 50–99% [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4522.2018.8.

Литература

1. **Зинуров В. Э, Дмитриев А. В, Соловьева О. В, Латыпов Д.Н**. Влияние загрязнения пылеочистительного сепаратора мелкодисперсной пылью на энергетические затраты в ходе его эксплуатации // Вестник Казанского технологического университета, 2019, Т. 22, №. 8, С. 33–37.
2. **Дмитриев А. В, Зинуров В. Э, Дмитриева О. С, Нгуен Ву Линь.** Улавливание мелкодисперсных частиц из газовых потоков в прямоугольных сепараторах // Вестник Иркутского государственного технического университета, 2018, Т. 22, №. 3 (134), С. 138–144.

В.Э. Зинуров, асп.; И.И. Гиззатов, студ. (КГЭУ, Казань) М.А. Антонов, студ. (НХТИ, Нижнекамск) рук. О.С. Дмитриева, к. т.н., доц. (КНИТУ, Казань)

ИССЛЕДОВАНИЕ БЛОКА ОРОСИТЕЛЯ С ГОФРИРОВАННЫМИ ПЕРФОРИРОВАННЫМИ ПЛАСТИНАМИ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ОТВОДА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА

Интенсификация отвода низкопотенциального тепла от оборотной воды на энергетических предприятиях является крайне актуальной задачей. На данный момент для охлаждения воды применяются различные модификации градирен, подразделяющиеся на сухие и мокрые. Задача увеличения эффективности данных аппаратов в последнее десятилетие активно обсуждается в научном сообществе, по данной тематике опубликовано большое количество работ, в которых рассматриваются вопросы интенсификации теплообмена в рекуперативных теплообменных аппаратах, создания менее энергозатратных вентиляторов, современных блоков оросителей и др.

Авторами данной работы для решения поставленной задачи предлагается бесконтактная испарительная градирня, которая сочетает преимущества сухой и мокрой градирен. Принцип работы предлагаемой градирни заключается в том, что сперва горячая оборотная вода при движении внутри пучков труб охлаждается воздухом, который нагнетается вентилятором и обдувает пучки труб, подобно охлаждению воды в сухих градирнях, после чего вода подается на гофрированные перфорированные пластины, по которым стекает в бассейн, при движении по пластинами происходит непосредственный контакт воды со встречным потоком воздуха, подобно процессам в мокрых градирнях [1].

В ходе исследования было получено, что предлагаемый блок оросителя позволяет достичь распределение жидкости по пластинам по занимаемой площади на 98,7%.

Преимуществами предлагаемой бесконтактной испарительной градирни являются: малые энергетические затраты, исключение водораспределительной и водоочистительной систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-417.2019.8.

Литература

1. **Зинуров В. Э, Дмитриев А. В, Хафизова А. И, Гайнатуллин Р. Р, Латыпов Д.Н.** Снижение энергетических затрат при отводе низкопотенциального тепла от оборотной воды путем использования блока оросителя с гофрированными перфорированными пластинами // Вестник Казанского технологического университета, 2019, Т. 22, №. 10, С. 57–62.

А.Р. Аляутдинов, асп.; Н.С. Нечепуренко, студ.;
рук. Г.П. Власенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЗАМОРОЗКИ НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

Замораживание, хранение в замороженном состоянии и сублимационное обезвоживание — это наиболее совершенные способы длительного сохранения требуемых качеств термочувствительных продуктов и материалов. Но имеется основной недостаток этой технологии — высокие эксплуатационные затраты [1].

В ходе выполненного исследования определена степень влияния на технико-экономические параметры сублимационной сушки этапа предварительной заморозки. Для этого произведен расчет потребления электрической энергии во время цикла сублимации при атмосферном давлении с предварительной термообработкой объектов в морозильной камере и без предварительного замораживания.

Установлено, что без предварительной заморозки объектов в морозильной камере максимальные затраты энергии на один сушильный цикл составляют 50 кВт·ч (219,2 кДж/кг считая по испаренной влаге), время на удаление влаги составляет 125 часов, финансовые затраты на электроэнергию всего процесса составляют 245 руб. Процесс сушки в атмосферной сублимационной установке с предварительной заморозкой объектов в морозильной камере позволяет снизить затраты электроэнергии на один сушильный цикл до 32,56 кВт·ч (138,9 кДж/кг считая по испаренной влаге). Время, требуемое на удаление влаги, составляет 91 час, финансовые затраты на сушку с технологией сублимационного обезвоживания составляют 159 руб. 54 коп. .

На основании проведенного экспериментального исследования подтверждено, что цикл сублимационного удаления влаги при атмосферном давлении должен начинаться с предварительной глубокой заморозки продукта, что позволяет сократить затраты на процесс на 35%.

Литература

1. **Антипов А.В., Дугаров Ц.Б., Власенко Г.П., Данзанов В.Д.** Определение температуры замораживания пищевых продуктов перед сублимационной сушкой при атмосферном давлении // Научный журнал «Известия КГТУ», №48, 2018.

А.А. Кобзева, студ.; рук. В.С. Глазов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ГРАНИЦЫ ТЕПЛООБМЕНА

В настоящее время многие исследователи используют линейное приближение, основанное на работах И. Ньютона и Г.В. Рихмана, и применяют его в более широком диапазоне температур. При этом считают, что конвективный тепловой поток прямо пропорционален разности температур и площади теплообмена. Коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом теплоотдачи, определяют по эмпирическим формулам, вид которых зависит от чисел Рейнольдса, Грасгофа, Прандтля, Нуссельта и других безразмерных величин. Поскольку всякое тело, имеющее температуру отличную от нуля, излучает, возникает вопрос: «Правильно ли утверждать, что используемое линейное приближение соответствует конвективному потоку и где те границы, которые определяют доминирование одного из двух механизмов теплообмена?» Ответ на этот вопрос важен не только с точки зрения соответствия названия процесса его сути, а и выбора способов его описания и методов расчета. Поэтому нами была рассмотрена следующая задача:

На примере охлаждения пластины, омываемой воздухом ($t_в$= 0°C) определить интервалы температур, при которых один из двух механизмов теплообмена доминирует над другим (т.е. превышает более чем в 10 раз). Это позволит обоснованно сводить решение некоторых задач к определяющему механизму переноса, чтобы получить решение с большей точностью, не прибегая при этом к сложным математическим процедурам.

Решение поставленной задачи позволило:

1. Установить наличие 3-х зон в интервале возможных значений температур пластины: в 1-ой — доминирует конвекция, во 2-ой — механизмы сопоставимы, в 3-ей — доминирует излучение. Температуры, являющиеся границами раздела зон, определены как критические T_{cr1} и T_{cr2}.

2. Получить функции, использование которых позволяет определить величину критических температур по известным значениям коэффициента теплоотдачи, степени черноты пластины и температуры внешней среды.

3. Выявить во 2-ой зоне локальный максимум разности сравниваемых потоков, который не зависимо от величины $t_в \in (0,1000)$ °C снижается с уменьшением коэффициента теплоотдачи и увеличением степени черноты пластины.

4. Разработать методику, которая позволяет при известном расположении теплообменных поверхностей и коэффициенте теплоотдачи, значении температур и отношении удельных тепловых потоков определить приведенную степень черноты рассматриваемой системы, и, наоборот — по известным значениям степени черноты, температурам и отношению удельных тепловых потоков определить коэффициент теплоотдачи.

Т.С. Березина, асп.; М.С. Королева, С.С. Городничина, студ.;
рук. Г.П. Власенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АППАРАТУРНЫХ РЕШЕНИЙ СУШКИ СЫРЬЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Производство семян дикорастущих растений является технически сложной и малоизученной задачей. Ввиду необходимости совместного высушивания семян вместе с травой, возникает ряд требований к аппаратурному оформлению процесса сушки. Решения для небольших предприятий должны быть универсальными и подходить для сырья, различного по форме, влажности, размеру. Одновременно необходимо учитывать: невозможность использования крупногабаритных механизмов, требования к равномерному распределению сушильного агента по площади травы, обеспечение легкого сбора семян, устройства по предупреждению уноса семян, наличие дренажных каналов для отвода влаги в процессе, небольшую металлоемкость, простоту и мобильность конструкции.

В процессе исследования изучены существующие конструкции сушилок разного типа. На основании проведенного анализа рассмотрены их достоинства и недостатки, даны рекомендации по улучшению существующих конструкций.

Для интенсификации процесса сушки растительной продукции необходимо устройство принудительной вентиляции или так называемого активного вентилирования [1]. Наиболее подходящими конструкциями в зависимости от типа сырья определены: напольная сушилка английской фирмы Алван Бланш для менее влагосодержащего сырья и модульная силосная конструкция для более влагосодержащего сырья. В качестве предложения по доработке схемных решений предлагается использование цилиндрических конструкций с равномерной подачей воздуха. Равномерность распределения подогретого сушильного агента достигается за счет конусообразной перфорированной насадки на вентиляционный канал.

Полученные результаты могут использованы для совершенствования конструкций для сушки дикорастущей травы. Эти данные найдут практическое применение, благодаря которым увеличится производительность предприятия с повышением качества получаемых семян.

Литература

1. **Козлов Е.С.** Разработка и обоснование рациональных способов сушки травы системами активной вентиляции: автореферат дис…. кандидата технических наук: 05.23.03 / Нижегородская гос. архитектурно-строительная акад. — Нижний Новгород, 1997. — 20 с.

А.Р. Аляутдинов, асп.; А.И. Егорова, А.Д. Павлова, студенты;
рук. Г.П. Власенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА АТМОСФЕРНОЙ СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ

Значительная энергоемкость установок, используемых в нашей стране для сушки, обуславливает актуальность технологического совершенствования. Необходимо первоочередное решение вопросов, связанных с повышением энергетической эффективности сушильных установок, в том числе сублимационных. При этом способе сушки наиболее полно сохраняются вкусовые и питательные свойства пищевых продуктов. Уточнение математической модели способствует повышению экономической эффективности рассмотренной технологии, улучшению качественных показателей и увеличению срока хранения объектов сушки. Выполненное исследование и систематизация сведений о теории и параметрах процесса атмосферной сублимационной сушки позволят разработать конструкции усовершенствованных аппаратов для сушки.

Анализ научно-исследовательских работ позволил обобщить имеющиеся данные, получить результаты по кинетике сушки. Проведено расчетно-аналитическое исследование рассматриваемого процесса и экспериментальным путем получены данные о температурных значениях процесса обезвоживания кусочков яблок. При расчете продолжительности атмосферной сублимационной сушки учтено время, необходимое на осуществление процессов замораживания, сублимации вымороженной влаги и испарения невымороженной влаги.

Метод поэтапного расчета продолжительности сушки является наиболее точным и позволяет проанализировать зависимость от определяющих факторов [1]. Установлено, что при атмосферной сублимационной сушке на лабораторном стенде, созданном в ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» на кафедре ТМПУ, продолжительность процесса составила 4 суток, а по теоретическому расчету 3,8 суток. Следует отметить, что полученные результаты имеют близкие значения, но сложность теоретического расчета заключалась в ограниченности информации о необходимых физических величинах.

Литература

1. **Камовников Б.П., Антипов А.В., Семенов Г.В., Бабаев И.А.** Атмосферная сублимационная сушка пищевых продуктов. М.: Колос, 1994–255 с.

Т.С. Березина, асп.; М.С. Королева, С.С. Городничина, А.Д. Павлова, студ.; рук. Г.П. Власенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ СЫРЬЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Семена дикорастущих растений используются для восстановления естественного природного ландшафта, поврежденного в результате производственной деятельности человека, для озеленения придорожных зон, создания «зеленых кровель». Наращивание производства семян таких растений — одна из приоритетных задач для некоторых стран Западной Европы, в частности, Германии. Ввиду того, что это сезонный процесс, важно правильно организовать процесс сушки семян. При использовании неэффективного оборудования и несоблюдении режимных параметров собранные семена либо полностью лишаются активных веществ, либо частично снижается их качество, что приводит к экономическим издержкам. Для повышения показателей качества и энергоэффективности процесса сушки травы и получения из нее семян, были проведены эксперименты по изучению процессов тепломассообмена растительного сырья совместно с коллегами из Бранденбургского технологического университета (BTU) и компании NagolaRe: получены экспериментальные зависимости кинетики сушки, определена продолжительность сушки дикорастущей травы, количество удаляемой из нее влаги, проанализированы параметры тепломассообменного процесса, определены значения, при которых возможно начало конденсации.

Результаты проведенного исследования показали, что применяемое в настоящее время техническое решение для сушки в плотном слое приводит к возникновению конденсата на поверхности, переувлажнению нижних слоев травы и необходимости осуществлять перемешивание слоев вручную. Изучение воздействия факторов, влияющих на процессы сушки травы, может позволить уменьшить производственные издержки и повысить качество продукции [2]. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования процесса сушки дикорастущей травы и найдут практическое применение в высокоэффективных установках для сушки, благодаря которым увеличится производительность предприятия.

Литература

1. **Heindl A.** Praxisbuch Bandtrocknung: Grundlagen, Anwendung, Berechnung // Springer Berlin Heidelberg, 2016. 699 p.
2. **Ziegler T.** Leitfaden Trocknung von Arznei- und Gewürzpflanzen // Bornimer Agrartechnische Berichte, Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie, Potsdam-Bornim, 2017. Vol. 94.

Г.И. Парфенов, студ.; рук-ли В.К. Пыжов, к.т.н., доц.;
Н.Н. Смирнов, ст. преп. (ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МИКРОКЛИМАТА ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЯ ТРЕНАЖЕРА БЩУ АЭС

Работа в помещении блочного щита управления (БЩУ) АЭС относится к категории высокого уровня ответственности, причем монотонная деятельность операторов требует сосредоточенности и оказывает нервно-эмоциональную нагрузку, которая может привести к утомлению работника и снижению его работоспособности. Решение данной проблемы — создание системы кондиционирования, организующей динамический микроклимат в помещении. Динамический микроклимат подразумевает под собой периодические изменения метеорологических параметров воздуха.

Целью данной работы является оценка влияния переменных тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции на микроклимат в помещении, а также разработка энергосберегающих мероприятий и оценка их влияния на тепловые потери.

На первоначальном этапе было произведено энергетическое обследование объекта инструментальным методом. Были экспериментально определены краевые условия для математической модели и найдены параметры приточного воздуха на основе составленных балансов по теплоте и влаге. Была разработана и верифицирована математическая модель.

Для снижения недостатков теплоты в нерабочее время были разработаны следующие энергосберегающие мероприятия: применение теплоотражающих экранов в оконном блоке и дежурного режима отопления, позволяющего снижать температуру в помещении во время отсутствия людей до обоснованного значения.

При создании симуляционной модели в Comsol MultiPhysics были приняты следующие краевые условия: потери от ограждающих конструкций были заданы с помощью ГУ 3 рода, причем температура наружного воздуха была выбрана для расчетного периода и задана в виде функции от времени; потери теплоты через окна задавались с помощью уравнения теплопередачи, в котором приведенное сопротивление было переменной величиной; тепловыделения от ПК, БЩУ, осветительных установок и людей задавались с помощью соответствующих функций.

В рабочую смену моделировался динамический микроклимат. В нерабочее время для экономии тепловой и электрической энергии подача приточного воздуха прекращалась, и моделировалось естественное остывание помещения.

В результате моделирования были получены поля температур и скоростей для различных моментов времени.

А.Р. Аляутдинов, асп.; Р.О. Алексеев, Д.Е. Попов, студ.;
рук. Г.П. Власенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУБЛИМАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СУШКИ РАСТЕНИЙ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

Процессы обезвоживания различных материалов относятся к числу наиболее распространенных теплоиспользующих процессов в промышленности и сельском хозяйстве. Атмосферная сублимационная сушка — один из самых эффективных на сегодняшний день способов получения качественного продукта, способного храниться без поддержания специальных условий [1].

Исследование проведено с целью выявления режимов работы сублимационной установки при сушке растений с сохранением их товарного вида. Сложность процесса обезвоживания растений связана с тем, что они существенно отличаются клеточной структурой и формой соцветий. Поэтому необходимо для каждого отдельного вида растений определить собственные условия атмосферной сублимационной сушки и высушить эти растения, с сохранением потребительских свойств конечного продукта.

В качестве объекта сушки были использованы соцветия *Gypsophila paniculate* (Качим метельчатый). Атмосферная сублимационная сушка соцветий происходила в три этапа: предварительное замораживание, сублимационная сушка и тепловое досушивание. Соцветия растений после предварительной заморозки выкладывались на сетчатые противни и помещались в сублимационный бункер при температуре –18 °С, где и происходило удаление вымороженной влаги. После достижения необходимого значения остаточной влажности (15–20%), продукт направлялся на тепловое досушивание при температуре 40°С до достижения им заданной влажности 5% [1].

В итоге мы получили сушеные соцветия *Gypsophila paniculate* (Качим метельчатый) без потери его потребительских свойств и существенного изменения цвета, конечная влажность продукта составила допустимые 6,1% влажности для сушеных продуктов. Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии перегрева, а также о том, что способ и режим атмосферной сублимационной сушки наиболее благоприятен для данного продукта.

Литература

1. **Камовников Б.П**. Атмосферная сублимационная сушка пищевых продуктов. М.: Колос, 1994.

А.Р. Аляутдинов, Т.А. Березина асп.; А.Е. Шаповалов, М.Е. Шаповалова студ.; рук. Г.П. Власенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СУШКИ ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Послеуборочная обработка лекарственных растений состоит из нескольких этапов, наиболее сложным и энергозатратным процессом остается термообработка. Химический состав многих растений, обладающих ценными целебными свойствами, окончательно не изучен. Известно, сушка лекарственного растительного сырья при температуре выше 40°С, приводит к потере более 30% активных веществ. Современные концепции в области теории сушки свидетельствуют, что тепло- и массообменные процессы часто сопровождаются изменением структурно-механических свойств высушиваемого объекта, реакциями окисления, гидролиза, потерей лекарственных свойств. Совершенствование процесса сушки необходимо для сохранения и улучшения свойств высушиваемых термолабильных растений [1,4].

Проведенное исследование позволило оценить влияние различных способов сушки на продолжительность процесса и на параметры качества высушенных лекарственных растений. На основе анализа работ российских и зарубежных ученых обоснованы технологические приемы сушки растительного сырья [2,3]. Результаты экспериментов показали, что сушка соцветий Caryophyllaceae в конвективной и инфракрасной сушильной камере приводит к изменению цвета, размера и формы растений, неравномерному остаточному влагосодержанию, разложению действующих веществ. Использование вакуумной сублимационной сушильной установки уменьшает большинство этих недостатков, а время сушки составляет 5 часов. В сублимационной установке при атмосферном давлении удалось достичь наилучшего качества, но следует отметить, что наибольшая продолжительность процесса (4 суток) характерна для атмосферной сублимационной сушки при сопоставимых эксплуатационных затратах на организацию процесса сушки.

Литература

1. **Бобылев Р.В., Грядунова Г.П., Иванова Л.А.** Технология лекарственных форм: Учебник в 2-х томах. Том 2/ — М.: Медицина, 1991. — 544 с.
2. **Лягина Л.А.** Совершенствование способа сушки продуктов растительного происхождения // Вестник СГАУ, №5, 2010. С. 37–39.
3. **Zheng M., Xia Q., Lu S.** Study on drying methods and their influences on effective components of loquat flower tea // LWT — Food Science and Technology, 2015. Vol. 63, No. 1. P. 14–20.
4. **Zhou C., Li X., Xu C., Chen K.** Effects of drying methods on the bioactive components in loquat (Eriobotrya japonica Lindl.) flowers // Journal of Medicinal Plants Research, 2011. Vol. 5 (14). P. 3037–3041.

М.В. Козлова студ.; рук. А.В. Банников к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ГИГРОСКОПИЧЕСКИХ ОПРЕСНИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Одной из насущных задач современности является обеспечение качественного водоснабжения засушливых регионов, лишенных чистых пресных источников. В этой связи выявление, а также дальнейшее исследование наиболее экономически и термодинамически эффективных методов опреснения является актуальным.

Объектом исследования настоящей работы, в силу своей энергоэффективности [1], является гигроскопический метод опреснения [2]. Энергетической эффективность опреснителей гигроскопического типа состоит в увеличении производительности установки за счет дополнительной генерации пара, обусловленной разницей температуры термодинамического равновесия жидкости и температуры ее насыщения при этом же давлении. Экспериментальная установка включает в себя алюминиевую цилиндрическую испарительную камеру, в верхней части которой ниже уровня опресняемой воды установлен змеевик, соединенный с солнечным коллектором; барботажное устройство, расположенное под нагревательным элементом и выполненное в виде плоской спирали с отверстиями; нагнетательное устройство, служащее для перемещения воздушных масс и питающееся от солнечной батареи; конденсатор-сепаратор, в котором осуществляется процесс осушки воздуха; змеевик.

При функционировании установки протекают процессы сопряженного тепломассообмена, интенсивность которых определяется начальными условиями протекания процессов, конструктивными особенностями установки. Производительность установки определяется количеством воды, испарившейся в результате контакта с воздухом:

$$dW=\beta_d \cdot dF \cdot \frac{d_н - d_в}{1000}, \quad (1)$$

где β_d — коэффициент влагоотдачи, отнесенный к разности влагосодержаний, кг/(м^2×с(г/кг)); $d_н$ — влагосодержание воздуха в пограничном слое жидкости при температуре ее поверхности, г/кг с.в.; $d_в$ — влагосодержание воздуха в окружающей среде, г/кг с.в.; dF — элементарная площадка влагообмена, м^2

В результате эксперимента установлено, что производительность возрастает с повышением температуры воды и уменьшается при увеличении температуры воздуха. Соответственно, повышение температуры воды является одним из способов интенсификации процесса опреснения.

Литература

1. **Дикий Н.А.** Энергоустановки геотермальных электростанций/Н.А. Дикий. — К.: Высш.Шк. Головное изд-во, 1989. — 198 с. — ISBN 5-11-001427-2.

Н.И. Захаров, студ.; асп. Г.Н. Афонина,
рук. В.С. Глазов к.т.н. доцент (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КАПИЛЛЯРНЫХ МАТОВ В КАЧЕСТВЕ ОТОПИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

• Одной из самых инновационных систем обогрева помещений на данный момент является лучистое отопление. Особенность лучистого отопления в нагревании самих предметов потоком лучистой энергии, далее тепло, исходящее от этих предметов нагревает воздух в помещении. В последнее время появились работы, посвященные использованию капиллярных матов для подогрева/охлаждения воздуха в помещении или грунта в овощных теплицах.

• Не высокая (комфортная) температура для человека и растений, а также огромная поверхность теплообмена капиллярных матов обеспечивает «мягкость» этого процесса. По сравнению с традиционной (водяной) системой отопления, использующей радиаторы, капиллярно-матовая система позволяет снизить потребление топлива, т.к. она использует теплоноситель с более низким температурным потенциалом. Тем не менее, число практических работ, раскрывающих потенциал применения капиллярных маты, не велико. В большинстве случаев при их упоминании в различных ресурсах используются только общие термины и формулировки. Не приводятся конкретные цифры, отражающие картину по их использованию. Поэтому с целью определения возможности обеспечения комфортных условий с помощью капиллярных матов было проведено математическое и физическое моделирование теплообмена в одном из помещений МЭИ.

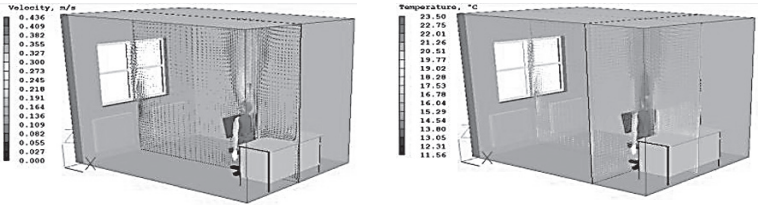


Рис. 1. Поле скоростей и температур в исследуемом помещении

Установлено, что капиллярные маты полностью удовлетворяют второму условию комфортности, для человека, работающего в помещении.

Литература

1. **Богословский В.Н.** Строительная теплофизика: Учебник для вузов. — М.: Высш. Школа, 1982. — 415. с.

Секция 35.
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Председатель секции — Яковлев Игорь Васильевич
Секретарь секции — Пурдин Михаил Сергеевич

К.Ф. Фазлиахметов, студ.; рук. А.В. Федюхин, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ») конс. Д.А. Хворенков, к.т.н., доц., (ИжГТУ, г. Ижевск)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА ГЛУБОКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

Табл. 1. Расчетные параметры дымовых газов

Параметры уходящих газов	Установка Беспалова	Установка Эфимова-Гончаренко	Установка «RIGAS SILTUMS»
Влагосодержание дымовых газов после установки, кг/кг. с.	0,019	0,027	0,037
Температура на выходе из установки утилизации, °С	40	52	65
Ориентировочное увеличение мощности котельной (в долях)	0,13	0,09	0,07
Экономия в год: — тепла, Гкал — газа, млн. м^3 — средств, млн. руб	12240,4 1,397 7,404	8470,9 0,888 4,702	6591,1 0,691 3,657

На основе полученных, в разработанной математической модели в программе TurboPascal, результатов (см. табл.) определили, что экономически обоснованное повышение энергоэффективности режимов работы котельной будет реализовано с использованием систем глубокой утилизации теплоты уходящих газов при полученных значениях минимальных температур на входе в дымовую трубу, при которых реализуется сухой температурно-влажностный режим в стенке, на которые непосредственно влияет рассматриваемый метод глубокой утилизации теплоты продуктов сгорания. Важной характеристикой при глубокой утилизации тепла является коэффициент осушения, который и объясняет меньшее допустимое значение минимальной температуры дымовых газов на входе в дымовую трубу и, следовательно, большую полезную мощность системы утилизации.

Проведенный расчет показал, что глубокая утилизация теплоты уходящих газов необходима для повышения коэффициента полезного использования топлива и энергоэффективности теплогенерирующих установок, так как при утилизации значительная часть скрытой теплоты конденсации дымовых газов идёт на подогрев воздуха или воды, в зависимости от выбранной системы, для собственных и отопительных нужд, а конденсат после дополнительной обработки может быть использован для восполнения потерь воды в энергетическом цикле или теплосети.

Д.А. Косенок, студ.; рук. М.С. Пурдин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ ПОКРЫТИЙ

В последнее время уделяется мало внимания изучению теплообмена излучением, несмотря на то, что на практике все чаще применяются радиационные холодильники, солнечные коллекторы и инфракрасные обогреватели, представляющие собой энергоэффективное теплообменное оборудование. Целью работы является разработка лабораторного стенда для определения степени черноты покрытий и материалов.

Для проведения эксперимента разработан экспериментальный стенд, представляющий собой металлическую емкость, одна из стенок которой, для нанесения разных покрытий, выполнена плоской. Емкость с размерами 400×400×150 мм изготовлена из листа алюминия (АМг2) толщиной 1,2 мм.

При измерении степени черноты емкость заполняется водой и нагревается до температуры 70–100 °С для снижения влияния излучения от окружающих объектов. Проводится измерение температуры поверхности Тпов контактной термопарой Testo AG 202 1ST, подключенной к термометру Testo 925. Затем в настройках пирометра Testo 845 подбирается такая степень черноты, чтобы результаты измерений пирометром и термометром совпали. Результат измерения степени черноты полированного окисленного алюминия и свечной сажи приведены в таблице 1. Низкое значение степени черноты сажи можно объяснить осаждением стеарина от свечи вместе с сажей, наблюдаемое в виде белесой пыли на поверхности. На следующем этапе разработки стенда планируется улучшить методику нанесения сажи.

Табл. 1. Степени черноты алюминия и сажи.

Источники	Степь черноты поверхности ε	
	Алюминий	Свечная сажа
Результат измерения	0,04 ($T_{пов}$ = 72 °С)	0,86 ($T_{пов}$ = 74 °С)
[1] Приложение Г	0,04 ($T_{пов}$ = 294 °С)	0,95 ($T_{пов}$ = 366–533 °С)
[2] Таблица XII-3	0,039–0,067 ($T_{пов}$ = 225–575°С)	—
[3] Таблица П-11	0,039–0,067 ($T_{пов}$ = 225–575°С)	0,952 ($T_{пов}$ = 95–270 °С)
[4] стр. 194	0,05	—

Литература

1. **Зигель Р., Хауэлл Дж.** Теплообмен излучением // М.: МИР, 1975, 935 с.
2. **Казанцев Е.И.** Промышленные печи. Справочное руководство для расчётов и проектирования // М.: Металлургия, 1975, 368 с.
3. **Михеев М.А.** Основы теплопередачи // М.: Энергия, 1977, 344 с.
4. **Мартыненко О.Г.** Справочник по теплообменникам // М.: Энергоатомиздат, 1987, Т. 2., 352 с.

Д.А. Косенок, студ.; рук. М.С. Пурдин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИ РАЗВИВАЮЩЕМСЯ ПУЛЬСИРУЮЩЕМ С МАЛЫМИ АМПЛИТУДАМИ ЛАМИНАРНОМ ТЕЧЕНИИ В ПЛОСКОМ КАНАЛЕ

В последнее время интерес вызывает применение микроканальных реакционных аппаратов [1]. Их компактность позволяет обеспечить высокую интенсивность тепло- и массообмена. Это дает возможность использовать для ее проведения энергетические ресурсы с меньшим температурным уровнем. Теплообменники с прямоугольными каналами используются для охлаждения электронной аппаратуры. В пульсирующих потоках растворение веществ происходит быстрее [2, 3]. Наложение пульсаций на течение приводит к увеличению касательных напряжений на стенках, что позволяет проводить очистку от отложений и накипи [4–6].

Получены результаты расчетов гидродинамики при ламинарном пульсирующем с малыми амплитудами течении в плоском канале. При относительных амплитудах колебаний A > 2/3 поперечная составляющая скорости влияет на течение. При амплитудах колебаний A < 2/3 колебания на начальном гидродинамическом участке во всем сечении происходят с первой гармоникой частоты колебаний расхода. Осредненные во времени значения коэффициентов гидравлического сопротивления, сопротивления трения и скорости соответствуют стационарным. С увеличением безразмерной частоты колебаний S амплитуда колебаний коэффициентов гидравлического сопротивления и сопротивления трения увеличивается.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №18-79-00281).

Литература

1. **Коваленко Л.В. и др.** Конструкционные особенности микрофлюидных устройств и области их применения // Бутлеровские сообщения. 2018. Т. 55. №9. С. 91–105.
2. **Chatwin P.C.** On the longitudinal dispersion of passive contaminant in oscillatory flows in tubes // J. Fluid Mech. 1975. V. 71. №3. P. 513–527.
3. **Smith R.** Contaminant dispersion in oscillatory flows // J. Fluid Mech. 1982. V. 114. P. 379–398.
4. **Augustin W., Bohnet M.** Einfluss einer pulsierenden Strömung auf das Foulingverhalten an wärmeübertragenden Flächen // Chemie Ingenieur Technik. 2001. V. 73. №9. P. 1139–1144.
5. **Gillham C.R., Fryer P.J., Hasting A.P. M., Wilson D.I.** Enhanced cleaning of whey protein soils using pulsed flows // J. Food Engin. 2000. V. 46. №3. P. 199–209.
6. **Kumar L., Mehandia V., Narayanan S.** Modeling Laminar Pulsatile Flow for Superior Cleaning of Fouling Layers // Ind.Eng. Chem. Res. 2015. V. 54 №43. P. 10893–10900.

А.П. Ларин, асп.; рук-ль А.А. Кудинов, д.т.н., проф. (СамГТУ, Самара)

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ЗА СЧЕТ СЖИГАНИЯ ГАЗА НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ В КОТЛАХ ТЭЦ

Посредством проводимого на Куйбышевском нефтеперерабатывающем заводе (АО «КНПЗ») ежегодного аудита энергетического оборудования выявлено, что наибольший потенциал по снижению энергоёмкости предприятия заключается в рациональном использовании топливного ресурса.

Выполнен обзор исследований в области рекуперации и повторного использования отработанного газа нефтепереработки, образующегося в нефтехимической промышленности. Установлено, что одним из способов экономии энергии и снижения воздействия на окружающую среду является сжигание газа нефтепереработки в котельных установках ТЭЦ и систем теплоснабжения [1, 2]. В связи с этим образующийся на предприятии АО «КНПЗ» газ нефтепереработки предлагается сжигать в энергетических котлах ТЭЦ, что дает существенное преимущество с точки зрения повышения энергоэффективности предприятия за счет экономии органического топлива.

Выполнены тепловые расчёты и проведен сравнительный анализ результатов расчётов котлоагрегатов БКЗ-100-39ГМА, которые установлены и эксплуатируются на ТЭЦ АО «КНПЗ», для случаев их работы на природном газе, на газе нефтепереработки и смеси природного газа и газа нефтепереработки [1]. Получены зависимости КПД брутто котла и расхода топлива на котел от его паропроизводительности при сжигании трёх видов газообразного топлива. Анализ результатов расчётов показал, что переход со сжигания природного газа на сжигание газа нефтепереработки приводит к снижению КПД котла на 0,2% и уменьшению расхода топлива с 8750 м^3/ч до 8424 м^3/ч.

Выполнен расчет экономической эффективности. При стоимости газа нефтепереработки 3000 руб./т и стоимости природного газа 6794 руб./т (для АО «КНПЗ») общая экономическая эффективность от сжигания газа нефтепереработки в энергетических котлах ТЭЦ АО «КНПЗ» при заданных выше расходах в денежном выражении составляет 251 млн. руб./год.

Литература

1. **Кудинов А.А.** Горение органического топлива: учеб. пособие для вузов. М.: ИНФРА-М, 2015. 390 с.
2. **Jou CG, Wu C, Lee C.** Reduction of energy cost and CO2 emission for the furnace using energy recovered from waste tail-gas. Energy 2010;35 (3):1232–6.

Н.В. Авдокунин студ.; рук. И.В. Яковлев к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

УТИЛИЗАЦИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Работа посвящена актуальной теме утилизации сбросной теплоты в центрах обработки данных (ЦОД) различной мощности. Целью работы было моделирование системы утилизации тепла вытяжного воздуха ЦОД с применением конденсационного теплообменника (КТ) и теплового насоса (ТН) с целью использования теплоты в системе отопления офисной части ЦОД.

Одной из важных задач, решаемой для надежной работы ЦОД, является охлаждение его серверного оборудования, которое служит главным источником теплоизбытков. Данную теплоту можно использовать с помощью ТНУ для отопления или горячего водоснабжения служебных помещений ЦОД.

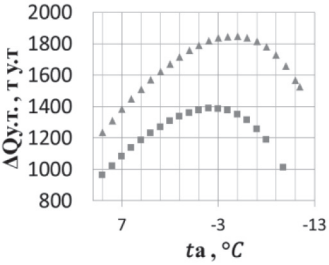


Рис. 1. Зависимость экономии топлива от средней температуры антифриза: ▾ — при ty=35°C; ▪ при ty=30°C

На основе балансовых соотношений была разработана математическая модель системы утилизации теплоты вентиляционных выбросов ЦОД. Система включает: теплообменник — утилизатор (КТ), промежуточный контур с циркулирующим антифризом для передачи теплоты от КТ к испарителю теплового насоса, тепловой насос, водяной промежуточный контур с баком аккумулятором

Экономия первичного топлива при применении предлагаемой системы утилизации теплоты вентиляционных выбросов определялась как разница между затратами энергетических ресурсов на отопление от централизованного источника теплоснабжения и затратами на работу теплового насоса.

Были произведены расчеты экономии первичного топлива для различных значений температуры антифриза на выходе из теплообменного аппарата для ЦОД различной мощности (для различных значений избыточной тепловой мощности). Установлено, что при уменьшении средней температуры антифриза увеличивается теплосъем от удаляемого воздуха. Однако с уменьшением температуры антифриза снижается коэффициент трансформации энергии, при этом уменьшается мощность, передаваемая конденсатором ТНУ в систему отопления. Поэтому зависимость экономии первичного топлива от температуры антифриза и температуры удаляемого воздуха носит немонотонный характер (максимум на графиках рис. 1).

И.Д. Карпилов, Р.М. Мустафин, А.Д. Москвитина, студенты;
рук.Д. И. Пащенко, к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ В ТЕРМОХИМИЧЕСКОМ РЕГЕНЕРАТОРЕ

Основным элементом системы термохимической регенерации является термохимический регенератор, отличающийся значительным аэродинамическим сопротивлением [1]. Большое сопротивление связано с развитой поверхностью частиц катализатора. Многообразие конструкций и форм катализаторов требуют получения универсальных способов расчета, так как классические подходы, такие как уравнение Эргуна, дают большие ошибки [2]. Одним из способов получения достоверных данных о потерях давления является CFD моделирование.

Целью данного исследования было определение потерь давления на участке термохимического регенератора со сферическими катализаторами при помощи CFD-моделирования в программе ANSYS Fluent (рис. 1). Геометрия модели состоит из цилиндра и 16 сфер. Расчетная сетка состояла из 6314523 треугольных элементов. Использовалась модель турбулентности k-e realazible с пристеночной функцией. Граничные условия на входе были заданы в виде скорости потока от 3 до 22 м/с. Полученные значения сошлись с экспериментальными. Данная модель может быть использована для определения потерь давления с частицами любой формы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант №19-19-00327.

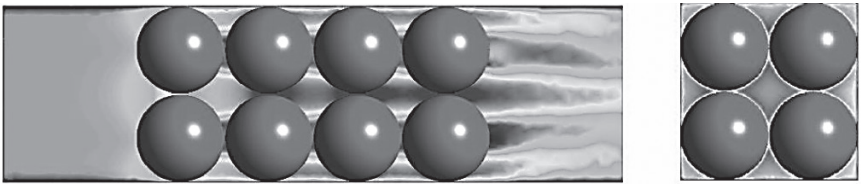


Рис. 1. Контуры скорости внутри термохимического регенератора

Литература

1. **Pashchenko D**. Experimental investigation of synthesis gas production by methane reforming with flue gas over a NiO-Al2O3 catalyst: Reforming characteristics and pressure drop //International Journal of Hydrogen Energy. — 2019. — Т. 44. — №. 14. — С. 7073–7082.
2. **Pashchenko D.** Numerical study of steam methane reforming over a pre-heated Ni-based catalyst with detailed fluid dynamics //Fuel. — 2019. — Т. 236. — С. 686–694.

О.Д. Матухнова, студент, Т. А Матухнов, аспирант;
рук. М.Ю. Юркина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВНЕДРЕНИЕ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ НА ТЭЦ «МЭИ»

Производство тепловой и электрической энергии на ТЭЦ сопровождается образованием большого количества низкопотенциальной тепловой энергии. Тепловой насос позволяет преобразовать низкопотенциальную теплоту и тепловые отходы в теплоту более высокой температуры, пригодную для использования.

На сегодняшний день одним из эффективных способов повышения коэффициента использования топлива является утилизация теплоты охлаждающей циркуляционной воды конденсатора паровых турбин. На рисунке 1 представлена схема включения теплового насоса для подогрева питательной воды подаваемой на деаэратор.

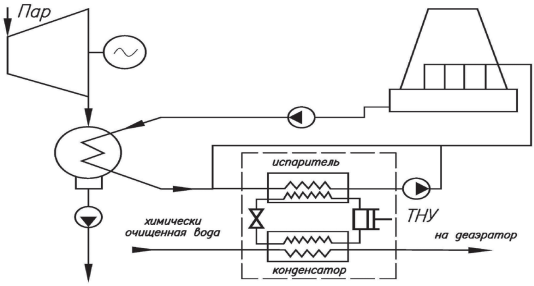


Рис. 1. Схема включения ТНУ

Расчет произведен на примере ТЭЦ «МЭИ». Работа заключается в оценке целесообразности внедрения теплонасосной установки путем сравнения показателей ТЭЦ до и после внедрения ТНУ [1].

Результаты расчета представлены в таблице 1.

Табл. 1. Технические показатели

Показатель	без ТНУ	с ТНУ
Расход отбора пара на деаэраторную установку, кг/с	6,814	6,711
КПД ТЭЦ, %	64,1	64,6

Использование ТНУ приводит к увеличению КПД ТЭЦ на 0,5%.

Литература

1. **Трубаев П.А.** Тепловые насосы: Учеб. пособие / П.А. Трубаев, Б.М. Гришко. — Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. — 142 с.

Д.В. Смоляков, студ.; рук. И.В. Яковлев, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

КОНДЕНСАЦИОННЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ В СИСТЕМАХ МИКРОКЛИМАТА ПЛАВАТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ

В настоящее время большое внимание уделяется утилизации вторичных энергетических ресурсов (ВЭР). В качестве одного из перспективных ресурсов можно рассматривать влажный воздух вентиляционных выбросов помещений с повышенной влажностью, какими являются, например, помещения плавательных бассейнов. Глубокая утилизация теплоты влажного воздуха с применением конденсационных теплообменников позволяет извлечь максимальное количество теплоты из удаляемого воздуха.

Возможны два пути использования утилизируемого тепла: непосредственный подогрев приточного воздуха в системе общеобменной вентиляции; активное использование теплоты вытяжного воздуха в системе теплоснабжения с применением теплового насоса. В бассейне МЭИ была создана и эксплуатировалась экспериментальная установка по утилизации теплоты вытяжного воздуха с применением в составе установки теплового насоса. Полученная теплота использовалась для подогрева воды в системе горячего водоснабжения. Теплоутилизатор представляет собой конденсационный теплообменник.

Установка позволяла измерять в реальном времени и архивировать основные параметры системы, в том числе и параметры теплоносителей на входе и выходе из теплообменника — утилизатора: температуры, расходы и относительную влажность воздуха. Результаты измерений обрабатывались в виде зависимости относительного приращения тепловой мощности теплообменника (относительно мощности «сухого») от коэффициента влаговыпадения (рис. 1). Пунктирные линии — результаты теоретического расчета этих параметров в диапазоне изменения рабочих параметров теплоносителей.

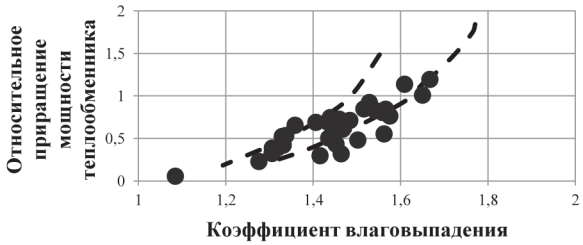


Рис. 1. Приращение мощности теплообменника в зависимости от коэффициента влаговыпадения

С.А. Максимов, студ.; рук. Е.В. Криницкий, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИИ И СТЕПЕНИ ЗАТЕНЕНИЯ ОТ ОКРУЖАЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ ЗДАНИЯ ШКОЛЫ

В работе проведен анализ энергопотребления здания школы. Произведена оценка влияния ориентации здания и изменение положения солнца на затенение здания от окружающей застройки.

Основная часть энергопотребления здания приходится на систему отопления для холодного периода года и систему холодоснабжения для теплого периода года. Одним из главных составляющих для расчета теплового баланса в летний период является солнечная радиация, величина которой зависит от ориентации здания и затенения от окружающей застройки.

Объектом исследования является здание школы №75, расположенное по адресу: МО, Ногинский р-н, г. Черноголовка, пр-д Строителей, д. 3, ориентация на северо-восток (С-В). Со стороны южного и северного фасада здания находятся два жилых дома типа П-44 высотой 47,5 м., которые образуют частичное затенение школы. В здании расположены системы отопления, холодоснабжения и другие инженерные системы. Система отопления является независимой, двухтрубной, с нижней подачей теплоносителя. Система холодоснабжения состоит из: чиллера, приточно-вытяжной установки и системы рециркуляции вытяжного воздуха.

Для энергомоделирования здания была использована программа IES VE. В программе была воссоздана геометрия здания, график работы школы, оборудования, осветительных приборов, а также прочих энергопотребляющих систем. В процессе моделирования исследовалось влияние ориентации здания путем его поворота с шагом 15° относительной своей оси, при этом положения окружающих зданий не изменялось. В работе не учитывалось затенение от других объектов, находящихся в непосредственной близи от здания.

В результате энергомоделирования значение годового энергопотребления здания составило — 135,6 МВт·ч (741 732 руб.). Наименьшее энергопотребление составило 129,5 МВт·ч при ориентации здания на восток (В). (708 365 руб.)

Таким образом, из анализа полученных результатов сделан вывод, что при проектировании важно заранее оценить влияние ориентации здания и, также, учесть существующую окружающую застройку и другие затеняющие объекты.

Литература

1. **Волков А.А., Седов А.В., Челышков Г.Д.** Моделирование энергоэффективных инженерных систем. М.: МГСУ, 2014.

А.С. Кожарина, студ.; рук. А.Б. Гаряев, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Наша задача — экономия топлива на сталепрокатном производстве с установкой теплообменного аппарата.

Для металлургического производства важным энергосберегающим мероприятием является установка теплообменника-утилизатора для подогрева воздуха, идущего на сжигание топлива отходящими дымовыми газами.

Для таких целей используется ТА из нержавеющей стали, выпускаемые, например, фирмой «Термо Северный Поток».

В нашей работе мы провели поверочный расчет такого теплообменного аппарата и определили тепловую мощность, которую можно получить при приемлемых габаритах аппарата.

Потребная теплообменная поверхность аппарата по полости охлаждаемого воздуха с учетом технологических отклонений теплоносителя составила, м^2:

$$F_{\text{р}} = \frac{Q}{K_{\text{г}} \cdot \Delta T_{\tau}} = 21{,}7 \quad (1)$$

где $K_{\text{г}}$ — коэффициент теплопередачи от охлаждаемого воздуха к охлаждающему, Вт/м^2 · °С; ΔT_{τ} — среднелогарифмическая разность температур в теплообменнике, °С; Q — тепловой поток в теплообменнике, Вт;

В результате высота теплообменного аппарата составила 3 м, длина — 3 м, ширина — 2,46м.

На производство стали без установки теплообменного аппарата расходуется 698 кг у. т./т., в то время как при его установке — 538 кг у. т./т.

Следующим шагом, является расчет температурных полей в данном теплообменном аппарате, путем проведения более сложного поверочного расчета, для того чтобы исключить возможность прогорания теплообменной поверхности. После этого предусмотреть меры, которые будут направлены на выравнивание температурных полей в теплообменном аппарате.

Литература

1. **Воронин Г.И.** Конструирование машин и агрегатов систем кондиционирования: — М., 1978. — 276 с.

Секция 36.
ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Председатель секции — Яворовский Юрий Викторович
Секретарь секции — Жигулина Екатерина Валериевна

С.С. Маринина, студент;
рук. Ю.В. Яворовский, к.т.н., доц.(НИУ «МЭИ», Москва)

СОЛНЕЧНОЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЬДОАККУМУЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В условиях постоянного роста цен на топливно-энергетические ресурсы и непрерывного роста их потребления, особенно важным становится использование возобновляемых источников энергии для увеличения надежности и эффективности энергоснабжения, в частности, теплоснабжения.

В данной работе выполнена оценка эффективности использования льдоаккумуляторной установки, использующей солнечную энергию для теплоснабжения индивидуального дома с высокими энергосберегающими характеристиками, проведен выбор уровня теплозащиты здания, разработана схема теплоснабжения индивидуального жилого здания с использованием льдоаккумуляторной установки (рис. 1.), осуществлен подбор оборудования и определены режимы работы системы. Анализ работы схемы проведен для различных климатических условий. К примеру, в городе Сочи потребление тепловой энергии зданием составило 20723 кВт·ч/год. Экономия энергии при использовании разработанной схемы теплоснабжения жилого здания составила 16506 кВт·ч в год по сравнению с традиционными системами индивидуального теплоснабжения. Доказана экономическая целесообразность применения льдоаккумуляторной установки с целью уменьшения затрат на теплоснабжение здания. Простой срок окупаемости составил 12 лет по сравнению со схемой теплоснабжения на базе электрокотла и 16 лет по сравнению со схемой теплоснабжения, основанной на автономном газоснабжении.

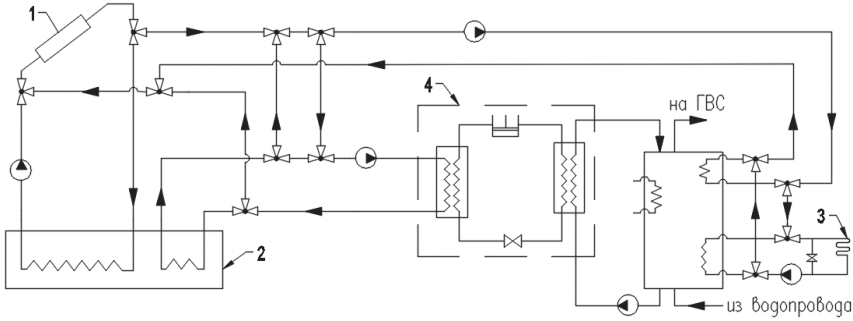


Рис. 1. Схема теплоснабжения индивидуального жилого здания с использованием льдоаккумуляторной установки: 1 — солнечные коллекторы; 2 — льдоаккумулятор; 3 — система отопления (теплый пол); 4 — тепловой насос

Е.А. Бодрова, студентка;
рук. В.В. Куличихин, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТБОРОВ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ ТУРБИНЫ Т-250/ 300–240 ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ СНЕГО-ЛЕДОВЫХ ОСАДКОВ.

Одним из перспективных вопросов развития ТЭЦ является возможность использования их технологической многопрофильности, обеспечивающей расширение роли ТЭЦ в выполнении ряда функций городского хозяйства. Утилизация снего- ледовой массы с улиц и крыш использованием сбросной теплоты ТЭЦ, отбираемой от конденсирующегося пара, позволяет значительно снизить финансовые затраты, а также существенно ускорить процесс таяния снего-ледовой массы.

Так, турбина Т-250–240 является одним из наиболее распространенных теплофикационных агрегатов современных отопительных ТЭЦ. При работе с номинальной загрузкой теплофикационного отбора в конденсатор сбрасывается 80 тонн пара в час с энтальпией 2565 кДж/кг, с получением конденсата с энтальпией 147 кДж/кг. Следовательно, турбоустановка сбрасывает в конденсатор 193,5 ГДж/ч тепловой энергии. Учитывая, что удельная теплота плавления льда составляет 330 кДж/кг, то в час, используя теплоту конденсации отработавшего пара, можно утилизировать 586,18 тонн снега [1]

В связи с выработкой ресурса лопаточного аппарата последних ступеней ЦНД турбины Т-250–240 на ряде ТЭЦ используется вариант работы турбины без последних 31 и 40 ступеней. При демонтаже лопаток этих ступеней происходит уменьшение расхода пара в ЦНД на 30 т/ч, теплота которого может быть использована для увеличения тепловой нагрузки турбины. Соответственно турбоустановка может сбросить в конденсатор 265,98 ГДж/ч, и при этом утилизировать 806 т/ч снега, что на 219,82 т/ч больше, чем при работе турбины с лопатками последних ступеней.

На основании проведенных исследований установлено, что для утилизации снего-ледовой массы целесообразнее использовать отработавший пар турбин без лопаток последних ступеней. Это значительно ускорит процесс переработки снега и льда с улиц мегаполисов в зимний период.

Список использованной литературы.

1. **Тувальбаев Б.Г., Моисеев В.И., Куличихин В.В.** Городская ТЭЦ — новая структурная производственно-генерирующая составляющая городского энергетического хозяйства // «Энергосбережение и водоподготовка», 2012, №2.

Т.Ю. Андреева студ.; рук. С.В. Гужов к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОДБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО ПУНКТА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА «ОТСКОКА» В МНОГОКВАРТИРНОМ ЖИЛОМ ДОМЕ

Выполнен расчет энергетического баланса многоквартирного жилого дома для получения тепловых нагрузок. Также разработаны системы автоматизации и диспетчеризации теплового пункта, спроектирован узел учета тепловой энергии.

Исходными данными для подбора оборудования индивидуального теплового пункта являются отчет по теплопотреблению жилого дома с 2014 по 2017 год, общие сведения об объекте, а также климатологическая характеристика местоположения жилого дома.

Рис. 1. Эффект «отскока» при реализации энергосберегающих мероприятий.

Произведено теоретическое обоснование эффекта «отскока» при реализации энергосберегающих мероприятий в МКД в соответствии с [1]. Проведен анализ данных теплопотребления за несколько лет и рассмотрен эффект «отскока» на примере многоквартирного жилого дома, оснащенного ИТП. Среднее теплопотребление в первом году составило 14,77 Гкал, после внедрения ИТП — 2,37 Гкал и в последующий год — 9,68 Гкал. Эффект «отскока» составил 83,97%. В результате второго года теплопотребление повысилось на 308%. Причинами могут являться сбившаяся настройка микроконтроллера, неполадка в системе датчиков, увеличение отложения в трубах системы отопления, или намеренное увеличение расхода.

Проведен анализ мероприятий по повышению эффективности расхода тепловой энергии. Выполнено обоснование необходимости внедрения энергосберегающих мероприятий в многоквартирном жилом доме.

Литература

1. **Могиленко А.В.** Эффект «отскока» (rebound effect) как ухудшение результата энергосберегающих мероприятий по сравнению с ожидаемым. Энергобезопасность и энергосбережение. 2016. №5.

Ю.И. Шеверева, студ., А.Ф. Прищепов, доц. (НИУ «МЭИ»)

ЗЕЛЕНАЯ ДЕРЕВНЯ

В XXI веке спрос на потребление энергоресурсов в мире стремительно растет, мировые запасы нефти и газа сокращаются, а цены на нефть увеличиваются, поэтому необходимо искать другие альтернативные источники энергии.

Возобновляемые источники энергии, по сравнению с традиционными, отличаются экологичностью и неисчерпаемостью, например: солнечная энергия, энергия ветра, энергия приливов и отливов, геотермальная энергия, гидроэнергетика, энергия движения воздушных масс, биотопливо и другие.

Основной задачей данной работы является создание энергоэффективной схемы тепло- и электроснабжения деревни, расположенной недалеко от г. Краснодар. Для решения проблемы предлагается использовать нетрадиционные возобновляемые источники энергии. В данной схеме планируется применить: 6 геотермальных тепловых насосов Stiebel Eltron WPF 40G с номинальной мощностью 45,7 кВт, который позволяет покрыть необходимое количество тепловой нагрузки на отопление (Qo_{Σ} = 118,08 кВт) и ГВС ($Qгвс_{\Sigma}$ = 153,7 кВт); в качестве резервного оборудования для теплоснабжения зданий используются сплит-системы SH-1000–120-Delta Duoval-R2 с бойлером Delta Duoval. Для снабжения деревни необходимым количеством электроэнергии используются солнечные батареи Sunways FSM 200F с номинальной мощностью N=200 Вт.

В ходе исследования было произведено сравнение схемы теплоснабжения деревни с помощью биотоплива и схемы с использованием тепловых насосов на тему экономичности, экологичности и простоты использования.

Литература.

1. Тепло земли. Геотермальная энергетика. «Наука и жизнь» №9, №10 2013 https://scisne.net/a-1172;
2. Геотермальная система теплоснабжения с использованием солнечной энергии и тепловых насосов https://www.abok.ru/for_spec/articles. php?nid=3977;
3. Отопление дома геотермальным тепловым насосом https://teplowood.ru/geotermalnyj-teplovoj-nasos. html;
4. Возобновляемая энергетика: примеры и практики реального использования: примеры и практики реального использования, Москва, 2019;
5. Газета Страна Росатом https://www.strana-rosatom.ru/;
6. Статья «Все об альтернативной энергетике», применение ветрогенераторов.

Д.А. Кравцов, студ.; рук. А.Я. Шелгинский, д.т.н., проф. каф. ПТС

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЯ

Проектирование промышленных и гражданских зданий, сооружений, это многогранный процесс, вовлекающий огромное количество участников.

BIM — building information modeling. Это процесс создания и управления информацией об объекте строительства на всех стадиях жизненного цикла –проектирование, планирование, строительство, эксплуатация зданий. BIM модель это не просто 3-х мерная модель здания, это модель состоящая из элементов хранящих в себе информацию. Если какой-либо из элементов меняется, программа, в которой вы работаете с BIM моделью, синхронизирует эти изменения со всеми ее видами. Изменения внесённый в модель, оперативно доступно всем участникам, сразу же обновляется в документации по проекту и что самое главное эта информация доступна на всем жизненном цикле здания.

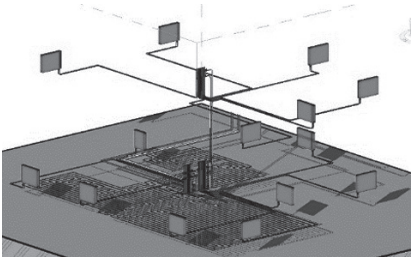


Рис. 1. Жилой дом

Рис. 2. Система отопления

Но на данный момент времени, нет «готовых к использованию» решений, позволяющих производить теплотехнический расчет здания или сооружения в BIM программах.

Основной задачей данной работы является разработка теплотехнической части информационной модели здания в BIM программе Revit, на примере системы отопления индивидуального жилого дома, который находится в Ногинском районе московской области (рис. 1). Алгоритм расчета составлен при помощи плагина Dynamo, работающего в среде программирования IronPython.

Полученные результаты существенно уточняют теплотехнические характеристики здания, снижают затраты времени на проектирование систем отопления (рис. 2) и повышают качество информационной модели здания.

О.А. Чехранова, студ.; Н.С. Булгаков, студ.; Ю.Д. Шкуро, студ.;
рук. Е.Г. Гашо, д.т.н доц. (НИУ МЭИ)

ОБЗОР МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ И ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ ИЗ ОТХОДОВ В ЕВРОПЕ И В РОССИИ

В настоящее время, когда население стремительно растет, ожидается, что численность жителей планеты за 20 лет возрастет больше, чем на четверть — на 26%, неминуемо с этим возрастает большая потребность в ресурсах от коммунальных до топливо-энергетических. Жизненный цикл продукта, сырья заканчивается тогда, когда его утилизируют. Сейчас наблюдается наиболее острый период угрозы экологической и энергетической безопасности планеты. Управление отходами — это отрасль, которая вращается вокруг сбора, хранения и утилизации отходов, начиная от обычных бытовых отходов до отходов, образующихся на атомных электростанциях. Разработка эффективных стратегий обращения с отходами имеет решающее значение для стран во всем мире, так как многие формы отходов могут перерасти в серьезную проблему, если с ними неправильно обращаться. [1] Сокращение первичных запасов топлива: угля, газа, нефти — является еще одной причиной для развития такого сектора как «энергия из отходов». Такая форма переработки мусора является одной из наиболее востребованных в мире. В работе были выявлены основные факторы, влияющие на сектор, к ним относится технический прогресс, в частности использование энергоэффективного оборудования, Лидером в утилизации ТБО является Швеция и Япония. В работе были проанализированы механизмы управления и техническое обеспечение в данных странах. Также был проведен анализ ситуации в России, выявлены перспективные, энергоэффективные технологии такие как торфяные котлы, пиролизные котлы. Таким образом, в работе представлен комплексный анализ результатов технических и управленческих решений сектора «утилизации отходов».

Литература

1. **Л. Наумов, А.К. Джанчарадзе.** Энергия из отходов: новейшие технологии против мусора [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://rostec.ru/news/energiya-iz-otkhodov-zelenye-tekhnologii-protiv-musora СПб.: Питер, 2013. 176 с.

О.А. Чехранова, студ.; Н.С. Булгаков, студ.; Ю.Д. Шкуро, студ.; рук. Е.Г. Гашо, доц., д.т.н (НИУ МЭИ)

ПРИОРИТЕТЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ЗДАНИЙ И МОНИТОРИНГ ЗЕЛЕНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ГОРОДА

Современный Мегаполис представляет собой сложную энергосистему. Требования к системе энергоснабжения мегаполиса определяются тремя главными условиями: обеспечение энергетической безопасности инфраструктурное стимулирование комплексного развития территории; обеспечение экологической безопасности. Примером города с большим потреблением является Москва. По различным экспертным оценкам запасов основных источников энергии (нефти, газа и угля) в мире осталось максимум на 100 лет. Также с ростом потребления энергии, ресурсов возникает рост экологической угрозы. Стоит отметить, что основными потребителями энергии города являются жилые дома, торговые и офисные здания, научные центры. В настоящее время наиболее актуальным является вопрос о ресурсосбережении, поэтому применении энергоэффективного зеленого строительства является одним из главных приоритетов в развитии города. В последнее время применение энергоэффективного, сберегающего оборудование приобретает все большее распространении в строительстве. Основной принцип проектирования энергоэффективного здания — поддержание комфортной внутренней температуры без применения систем отопления и вентиляции, использования альтернативных источников энергии[1]. В Москве уже существуют ряд зданий с использованием энергоэффетивного оборудования, такого как ТНУ, и использование сертификатов LEED.

В работе были проанализированы перспективы зеленых зданий, представлены результаты разработки мероприятий и технических решений по направлениям: повышение энергоэффективности, контроль и учет потребления ресурсов, а также был проведен мониторинг показателей эффективности зданий, использующих энергоэффективное оборудование в Москве.

Литература

1. **Гашо Е.Г.** Решение задач энергосбережния в России: некоторые итоги и мифы// «Энергосбережение», 2017

Д.А. Кругликов, асп.; Афонина Г. Н, асп.; рук-ли. И.А. Султангузин, д.т.н., проф.; В.С. Глазов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ ИСЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОТОЛОЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ ПАССИВНОГО ДОМА С СИСТЕМОЙ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

В работе произведено экспериментальное и численное исследование системы потолочного отопления/охлаждения совместно с системой приточно-вытяжной вентиляцией (работающей в режиме нагрева или охлаждения) в спальне второго этажа жилого дома, построенного по стандартам «Passive house» в Московской области. Система отопления/охлаждения построена на основе гипсокартонных потолков Gyproc армированных фиброволокном. Внутрь гипсокартона интегрированы трубы Uponor Pex-Pex с внутренним диаметром 9,9 мм и шагом 50 мм. Толщина листа 15 мм. Суммарная площадь установленных на втором этаже панелей — 80 м^2. В исследуемом помещении установлено 9 панелей 1200×500.

Система потолочного отопления/охлаждения данной комнаты дополнена системой приточно-вытяжной вентиляции. Приток осуществляется через напольную решетку в объеме 60 м^3/час. Вытяжка из дверного проема. Теплоноситель в системе отопления/охлаждения — вода.

Экспериментальные данные позволили получить краевые условия для математической модели теплового состояния спальни. Численное моделирование выполнялось в CFD-пакете ANSYS Fluent. На рисунке 1 приведен построенный приточный адаптер и напольная решетка 100×200.

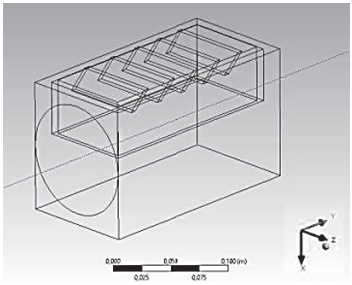


Рис. 1. Приточный адаптер в ANSYS Fluent

Численное моделирование позволило определить параметры теплоносителя в системе потолочного отопления/охлаждения, параметры приточного воздуха в системе приточно-вытяжной вентиляции, которые в совокупности приведут к достижению оптимальных параметров микроклимата в спальне.

А.Ю. Лихаева, аспирант; рук-ли: Ю.В. Яворовский, к.т.н., доц.,

И.А. Султангузин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОДХОД К МОДЕРНИЗАЦИИ ЗДАНИЙ НА БАЗЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

На сегодняшний день существует большое количество прикладных инструментов для проектирования зданий и сооружений, удовлетворяющих современным нормам.

Цель работы — моделирование и расчет тепловых потерь учебного корпуса Е «НИУ МЭИ» на базе программных пакетов «Passive House Planning Package» (PHPP) и «designPH», сопоставление полученных результатов с расчетами классическим методом и апробация модели в рамках концепции повышения энергетической эффективности зданий.

В программе PHPP была построена математическая модель, на основе которой получено, что расчетные тепловые потери здания составляют 647,7 кВт. При сопоставлении результатов расчетов тепловых потерь здания, полученных с помощью PHPP и классического метода расчета, отличие составило 6,8%, что позволяет сделать вывод о сопоставимости результатов расчетов по данным методикам и возможности их применения в равнозначной степени.

Наибольшую часть теплопотерь здания составляют тепловые потери через окна — 57%. При этом 88,8% от общего количества составляют окна, значения термического сопротивления которых не удовлетворяют современным нормам. Поэтому замена существующих окон на окна с бо́льшим термическим сопротивлением является наиболее очевидным мероприятием для повышения энергетической эффективности корпуса Е НИУ «МЭИ».

С целью апробации построенной модели были рассмотрены различные варианты оконных систем при варьировании значений тарифов и коэффициента дисконтирования, для которых были рассчитаны величины экономии денежных средств и дисконтированного срока окупаемости. По результатам расчетов наиболее выгодным является вариант оконной системы, термическое сопротивление которой составляет 0,95 ($м^2 \cdot К$)/Вт. Дальнейшее же увеличение коэффициента сопротивления теплопередаче ведет к значительному удорожанию окон и не дает прироста экономии денежных средств. Поэтому стоит отметить, что в настоящее время на рынке стоимость оконных систем с равновысокими показателями термического сопротивления как стеклопакета, так и профиля, высока, и часто не отражает реальной величины получаемого экономического эффекта от их внедрения. Для массового внедрения необходимо снижение цен на данные системы.

В.А. Петров, В.Ю. Чайкин студенты;
рук. И.А. Султангузин, д.т.н., проф. (МЭИ, Москва)

АНАЛИЗ ПАССИВНОГО ДОМА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Пассивный дом стал предпочтительным для архитекторов и исследователей во многих странах, поскольку он показал высокий тепловой комфорт и низкое энергопотребление. Пассивный дом — это здание с комфортной внутренней температурой зимой или летом, с низким потреблением энергии для обогрева или охлаждения помещения. [1]

Концепция пассивного дома основана на снижении тепловых потерь. Это достигается за счет:

1) высокой теплоизоляции и повышенной теплоемкости оболочки, которая удерживала бы энергию внутри

2) пассивного использования солнечной энергии

3) эффективной системы рекуперации тепла

Главной особенностью пассивного дома является показатель энергопотребления на отопление не более 15 кВт*ч/ ($м^2$*год). При мягком климате в Европе он достижим, но при холодном климате в России — достичь его крайне сложно. На примере пассивного дома площадью 200 $м^2$ в Московской области были произведены исследования за период с октября по декабрь. Дом оснащён тепловым насосом, солнечными коллекторами, солнечными батареями, механической вентиляцией с рекуперацией тепла, высокопроизводительными окнами и большим слоем изоляции. С помощью систем мониторинга были получены следующие параметры: средняя потребляемая электрическая мощность на отопление за октябрь месяц составила 0.45 кВт, за ноябрь — 0.74 кВт и декабрь — 0.68 кВт. За половину отопительного сезона в 2019 году получили потребление равное 0.61 кВт. Таким образом, среднее удельное потребление энергии дома в пересчёте на год равно 16.95 кВт*ч/$м^2$, что является достаточно низким значением. В настоящее время происходит монтаж дополнительных приборов мониторинга, что в дальнейшем нам даст возможность проводить более детальный анализ энергопотребления дома.

Достигнув данные показатели во многих домах, мы сократим переработку первичных ресурсов, вследствие чего, снизим выбросы парниковых газов в России, чем увеличим продолжительность жизни и обеспечим комфортное проживание людей.

Литература

1. **Hill B.** Passive house development in Russia // III World Summit Smart Energy Russia. 26–27 March 2019, Moscow. 95 p.

И.С. Соколов, аспирант, А.Ю. Лихаева, аспирант;
рук-ль: А.В. Рыженков, д.т.н. (НИУ «МЭИ)

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СХЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Энергопотребление в России растет с каждым годом, и основным потребителем энергии является сектор обеспечения зданий. По данным Международного Энергетического Агенства потребление энергии на обеспечение потребности зданий составляет более 30% от общего потребления при рассмотрении общемировых показателей и более 35% при рассмотрении показателей по Российской Федерации [1].

Перспективным способом решения проблем, вызванных растущим энергопотреблением, является применение для теплоснабжения зданий возобновляемых источников энергии, так, новая немецкая энергетическая политика «Energiewende» предполагает снижение применения первичных невозобновляемых источников энергии на 80% [2] и переход на возобновляемые источники.

Однако наиболее многообещающим источникам — грунтовым тепловым насосам и солнечным коллекторам, для достижения наибольшей эффективности необходима оптимизация. Решением в данной ситуации является применение интеллектуальных систем теплоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии. Наиболее масштабные тесты интеллектуальных систем теплоснабжения проводились в Швеции, было задействовано 58 строений, в результате пиковое теплопотребление было снижено на 15–20%, а общее потребление снизилось на 8% [3]. Интеллектуальные системы теплоснабжения, использующие возобновляемые источники энергии, являются ключевым компонентом теплосетей четвертого поколения.

В результате выполнения данной работы будет разработана система теплоснабжения, позволяющая прогнозировать погодные условия на основе статистических данных и балансировать тепловые потоки от возобновляемых источников в соответствии с прогнозом.

Литература

1. IEA and IPEEC «Building Energy Performance Metrics,» IEA; IPEEC, Tech. Rep., 2015
2. Energy Procedia Design of a Smart Thermal Grid in the Wilhelmsburg district of Hamburg: Challenges and approaches, Volume 149, September 2018, p. 499–508
3. **Johansson C., Wernstedt F., Davidson P.** Deployment of agent based load control in district heating systems First Agent Technology for Energy Systems Workshop, Ninth International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, Toronto, Canada, 2010

М.И. Гнутикова студент,
рук. Д.И. Пащенко, к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛОТЫ НА ЭМИССИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

Среди различных методов повышения энергоэффективности термохимическая регенерация теплоты (ТХР) отходящих дымовых газов представляет большой интерес. ТХР позволяет преобразовать теплоту дымовых газов в энергию нового синтетического топлива, а также полезно использовать их физическое тепло для предварительной переработки исходного топлива. В свою очередь это значительно влияет на снижение потребления первичного топлива [1].

Рис. 1. Контуры массовой доли NOx: а) для CH4; б) для синтез-газа

Целью данной работы является сравнительный анализ влияния ТХР на эмиссионные характеристики процесса горения. Для достижения цели было выполнено численное моделирование процесса горения синтетического топлива, образованного в системе ТХР и осуществлено сравнение эмиссионных характеристик такого горения с эмиссионными характеристиками горения чистого метана. Моделирование проводилось в программном продукте ANSYS Fluent.

Получены контуры массовой доли оксидов азота (Рис. 1), а также их среднее значение на выходе из горелки для реакций, протекающих при различной температуре. Сравнение результатов вредных выбросов азота для реакции горения метана и синтез-газа показало, что значение NOx синтез-газа значительно меньше, чем NOx, образующееся в результате горения метана, что показывает эффективность ТХР в снижении вредных выбросов на выходе из горелки. Разработан алгоритм, позволяющий исследовать выбросы вредных веществ оксидов азота для различного состава газа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант №19-19-00327.

Литература

1. **Пащенко Д.И.** Термохимическая регенерация тепла дымовых газов путем конверсии биоэтанола //Теплоэнергетика. 2013. №. 6. — С. 59–59.

Е.А. Шелгинский, студ.;
рук. Ю.В. Яворовский, к.т.н., доц. каф. ПТС (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ

Производство азотной кислоты в странах бывшего СССР по настоящее время остается одной из крупнейших в мире. На ее основе базируется производство нитратных азотных удобрений (аммиачной селитры и ее модификаций) а также, комплексных удобрений (содержащих азот, фосфор и калий). Рост производства этих удобрений неизбежен во всем мире для решения продовольственной проблемы. Кроме того, азотная кислота необходима для производства взрывчатых веществ в мирных и оборонных целях, продуктов органического синтеза.

Все действующие производства используют агрегаты, созданные в разных годах по проектам ОАО «ГИАП», входящего в группу компаний «Алвиго», по оригинальным технологическим схемам и полностью на отечественном оборудовании. Производство основной массы неконцентрированной азотной кислоты (58–60% HNO_3) осуществляется на агрегатах УКЛ-7 (с единым давлением в системе) и АК-72 (комбинированная схема).

В данной работе проведен анализ эффективности использования энергоносителей в энерготехнологической системе на основе агрегатов УКЛ-7. К достоинствам этой химико-технологической системы относятся: 1) использование теплоты промежуточных реакций для сжатия сырья (рекуперация энергии); 2) возможность организовать тщательную очистку отработанных газов.

Показано, что мощность тепловых потерь составляет 49,75 МВт. Около половины из них выбрасывается в окружающую среду через градирню водооборотного цикла. В частности, при охлаждении воздуха после первой ступени компрессора. Для снижения тепловых потерь разработана система подогрева питательной воды перед котлом-утилизатором мощностью 1,33 МВт теплотой сжатого воздуха после первой ступени компрессора. В основе системы заложен принцип теплопередачи на основе замкнутого испарительно-конденсационного цикла. Рассматриваются возможности интенсификации процессов в абсорбционной колонне с понижением температуры реакции, что приведет к снижению потерь исходного сырья, аммиака. Одним из вариантов является использование АБХМ.

В.Ю. Чайкин, В.А. Петров, студенты;
рук. И.А. Султангузин, д.т.н., проф. (МЭИ, Москва)

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ПАССИВНОГО ДОМА

Для создания полностью пассивного дома требуется большое количество высококлассного и дорогого оборудования. Этому оборудованию требуется постоянный мониторинг различных параметров. Достичь этого позволяет большое количество датчиков температуры, влажности и расхода. Все показания с этих приборов формируют большой объём данных, которые необходимо собирать, систематизировать и обрабатывать. Для этого применяются специальные системы мониторинга.

На данный момент в системе пассивного дома используются параллельно две системы мониторинга. Основной является ТеплоМонитор от фирмы «ТеплоСТАРТ». Эта система является управляющей и позволяет производить удалённый контроль и корректировку различных параметров, также производит автоматическое управление в зависимости от температуры окружающей среды и других параметров. Второй системой мониторинга является ПТК «ПолиТЭР» от фирмы «Политех-автоматика». В отличии от первой системы она используется только для мониторинга параметров, хотя также могла бы принимать участие в управлении энергоснабжением.

Сейчас в работе с системами мониторинга намечены четыре основные задачи. Первой задачей является нахождение способа выгрузки данных из системы управления ТеплоМонитор. В программе нет выгрузки полученных данных, единственной возможностью является обращение к производителю и запрос значений в частном порядке. Второй задачей, которую нужно решить, является добавление возможности удаленного подключения к системе ПолиТЭР. Необходимо произвести настройку сетевого оборудования и обратиться к оператору связи для предоставления статистического IP-адреса. Третьей задачей является необходимость подключение солнечных батарей к системе мониторинга. Установленные в системе солнечные батареи не имеют собственных систем удаленного контроля, поэтому было осуществлено подключение через внешний счетчик электроэнергии и учет в системе ПолиТЭР, однако по-прежнему отсутствует возможность контроля заряда батарей. Четвертой задачей является повышение тепловой эффективности пассивного дома за счёт изменения различных параметров, на основании полученных через систему мониторинга данных. Сейчас возможность оптимизации реализована через систему управления ТеплоМонитор. Но её существенный недостаток в том, что к ней возможно подключить только часть датчиков, поэтому сбор данных и оптимизация производится не в полном объёме.

А.Ю. Лихаева, асп., И.С. Соколов, асп.;
рук. А.В. Рыженков, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Ежегодно в летний период теплогенерирующие компании проводят плановые гидравлические испытания [1], которые позволяют предотвратить аварии в отопительный сезон. Проведение гидравлических испытаний позволяет выявить «слабые места системы теплоснабжения» — потенциальные места разрывов трубопроводов и оборудования, однако такой подход ни на стадии монтажа, ни последующей эксплуатации не гарантируют безопасной эксплуатации. Гидравлические испытания позволяют выявить места потенциальных повреждений трубопроводов и устранить их в летний период, однако, при их реализации возникает напряжение в металле, что обуславливает появление новых и развитие мелких трещин, являющихся причиной аварий в зимний период.

Таким образом, на сегодняшний день является актуальной задача оптимизации методики проведения гидравлических испытаний и поиска перспективных методов диагностики состояния трубопроводов систем теплоснабжения.

Цель работы — на основе существующих методов оценки состояния трубопроводов систем теплоснабжения [2] и поиска повреждений на них, разработать экспериментальный стенд и методику проведения экспериментальных исследований, на основании результатов которых выявить влияние различных параметров, таких как испытательное давление, продолжительность гидравлической проверки, начальное состояние образца и его состояние после испытаний, на целостность и герметичность трубопроводной системы, вследствие чего предложить оптимальные значения величин, влияющих на проведение гидравлических испытаний.

Литература

1. Электронный ресурс: СП 124.13330.2012 Тепловые сети. Режим доступа: https://stroydocs.ru/snipyi-i-gostyi/sp-124-13330-2012-teplovyie-seti-aktualizirovannaya-redaktsiya-snip-41-02-2003. html
1. **Андреева С.А.** Инновационные методы диагностики тепловых сетей // Энергосовет, №4 (50), 2017

Д.С. Облезов, студент; рук. С.Н. Петин, к.т.н. доцент (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТОДИК РАСЧЕТОВ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ Г. МОСКВЫ

Москва — город с самой высокой в мире тепловой нагрузкой. Годовой расход тепла на отопление и вентиляцию жилых зданий составляет около 0,21 Гкал/м^2 в год, что близко к среднему удельному потреблению по России. Средние по городу тепловые и электрические нагрузки в расчете на 1 человека составляют, соответственно, 3 тыс. ккал/ч (3,5 кВт) и 0,9 кВт [1].

Суммарные тепловые нагрузки жилищно-коммунального сектора и промышленности Москвы по договорам теплоснабжения между потребителями и теплоснабжающими организациями, уточненные по состоянию на 2010 г., составили: в паре — 1 812 т/ч (2,2% общей тепловой нагрузки города) и в горячей воде — 48 542 Гкал/ч (97,8%) [1].

В данной работе проводится исследование фактического потребления тепловой энергии отдельными потребителями с целью сравнения фактической тепловой мощности с договорной мощностью, закрепленной за конкретными потребителями. На данный момент исследования наблюдается превышение выделенной тепловой мощности над фактической тепловой нагрузкой на 20–35% в зависимости от типа потребителя и времени года. Также в работе проводится исследование режимов работы источника тепловой энергии с целью определить удельные расходы топлива при снижении договорных мощностей и определения количества оптимизационных мероприятий при возможном высвобождении тепловой энергии [2, 3].

На основании проводимого исследования планируется оценка возможного высвобождения тепловой мощности за счет сниженной определяемой фактической нагрузки. Планируется изучение влияния снижения тепловой нагрузки на энергетическую и экономическую эффективность работы источников тепловой энергии с оценкой выбора режимов работы и возможность подключения к источнику дополнительных нагрузок в виде новых потребителей.

Литература

1. http://www.rosteplo.ru/w/Москва
2. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. N 323 «Об утверждении порядка определения нормативов удельного расхода топлива при производстве электрической и тепловой энергии».
3. https://base.garant.ru/70271472/

И.Д. Карпилов, Р.М. Мустафин, А.Д. Москвитина, студенты
Рук.Д. И. Пащенко, к. т.н., доц. (СамГТУ, Самара)

ПРИМЕНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРА В СИСТЕМЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ

Термохимическая регенерация (ТХР) теплоты позволяет повысить эффективность использования ТЭР в промышленных установках с высокой температурой отходящих дымовых газов [1]. Основной механизм преобразования теплоты состоит в экзотермической реакции смеси метана и водяного пара в нагретом пространстве регенератора [2]. В результате реакции (1) образуется синтетическое топливо, которое впоследствии сжигается в горелке печи.

$$(\mathrm{CO} + 3H_2) + 2(O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow CO_2 + 3H_2O + 2(O_2 + 3{,}76N_2) \quad (1)$$

Дымовые газы после регенератора направляются в парогенератор для испарения воды и далее удаляются в атмосферу. Целью представленной работы является расчет эффективности установки конденсатора водяного пара из отходящих дымовых газов. Расчеты новой схемы (рис. 1) показали, что конденсат полностью покрывает потребность в подпитке для проведения реакции паровой конверсии метана. Следующий этап исследования — компьютерное моделирование процесса конденсации воды из отходящих дымовых газов в Ansys Fluent.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант №19-19-00327.

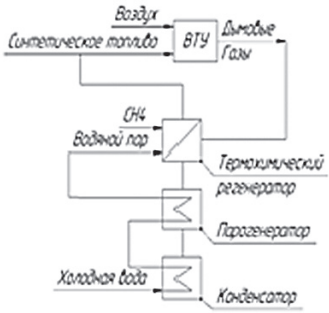


Рис. 1. Принципиальная схема ТХР с конденсатором

Литература

1. **Pashchenko D.I.** Computational Fluid Dynamics Modeling of Combustion of Synthetic Fuel of Thermochemical Heat Recuperation Systems //Combustion, Explosion, and Shock Waves. — 2018. — Т. 54. — №. 6. — С. 673–680.
2. **Pashchenko D.I.** et al. Thermodynamic analysis of thermochemical recuperation of high-temperature flue gas heat //Journal of Physics: Conference Series. — IOP Publishing, 2018. — Т. 1111. — №. 1. — С. 012009.

А.Ю. Умрихин, студ.; рук. Н.А. Логинова, к.т.н.,
старший преп. каф. ПТС (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ПУТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В СОСТАВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

В работе проводился анализ путей совершенствования энергетического оборудования в составе комбинированных энергетических комплексов с целью обеспечения их эффективной работы для энергоснабжения локальных маломощных потребителей.

Необходимо отметить, что перспективными являются комплексы комбинированного энергоснабжения на базе микроГЭС, обеспечивающие тригенерацию. Разработка таких комплексов сопряжена с решением задачи преобразования энергии потока воды в электроэнергию со стабильными параметрами [1].

Совершенствования подходов проектирования гидроагрегатов анализировалось на основании информации, опубликованной в научно-технических источниках, в т.ч. в патентных базах [2, 3]. Было выявлено, что решения, связанные с повышением эффективности работы гидроагрегатов можно разделить на три основные группы. К первой группе относятся конструкции, усовершенствование которых связано с работой электрогенератора. Конструкции второй группы направлены на совершенствование механизмов преобразования механической энергии в электрическую. Конструкции устройств третьей группы связаны непосредственно с такой комбинацией агрегатов, которая позволяла бы генерировать для потребителя одновременно электроэнергию и теплоту и/или холод.

Литература

1. **Логинова Н.А., Волков А.В., Дружинин А.А.** и др. Исследование устойчивости параметров системы автоматического управления комплексом тригенерации на базе микроГЭС // Насосы. Турбины. Системы, №2 (31), 2019. — С. 14–22
2. **Электрогенераторная установка для микроГЭС**: пат. 2637305: МПК H02K 27/28, H02P 9/14, H02P 9/30 / Компанеец Б.С.;
3. **Гидроэлектрическая станция**: пат. 2603830: МПК F03B 17/00 / Погосян Р.Г.

А.И. Бартенев, И.Д. Калякин, асп-ты; рук-ли И.А. Султангузин, д.т.н., проф.; Ю.В. Яворовский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ КРУПНЫХ ГОРОДОВ

Одним из перспективных направлений энергосбережения и повышения энергетической эффективности в теплоэнергетике является применение абсорбционных трансформаторов тепла (АТТ) на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ).

В настоящей работе был рассмотрен вариант модернизации двух энергоблоков ТЭЦ-21, которая является самой крупной ТЭЦ по установленной тепловой мощности среди ТЭЦ ПАО «Мосэнерго». Для оценки энергосберегающего эффекта были построены модели очередей 130 ат и 240 ат в программном комплексе Thermoflex [1].

Модель очереди 130 ат строилась для трех турбоагрегатов Т-100–130, трех Т-110/120–130, одного ПТ-80/100–130/13 и одного турбоагрегата Т-116/125–130. Турбоагрегаты данной очереди питаются от шести котлов ТГМ-96А и двух котлов ТГМ-96Б. Модель очереди 240 ат строилась для двух турбоагрегатов Т-250/300–240 и двух питающих их котлов ТГМП-314Ц. Для корректной оценки экономического эффекта от модернизации ТЭЦ было учтено изменение тепловой нагрузки в зависимости от времени года.

Отпуск тепла от ТЭЦ по магистральным сетям осуществляется с пониженной температурой обратной сетевой воды. Её снижение достигается за счёт установки АТТ на ЦТП. Установка АТТ на ТЭЦ позволяет утилизировать сбросное тепло градирен, что приводит к уменьшению расхода природного газа в котлах, а так же уменьшению количества выбросов вредных веществ на единицу отпущенной энергии.

Предложенные мероприятия являются перспективным направлением для повышения энергоэффективности топливно-энергетического комплекса крупных городов. Наиболее целесообразными данные мероприятия становятся при их взаимоувязке с программами по реновации жилья и капитальным ремонтом зданий с применением современных методов тепловой изоляции.

Литература

1. **Федюхин А.В., Султангузин И.А., Курзанов С.Ю., Белов Р.Б., Бакулин А.В., Шомова Т.П.** Применение прикладных программных средств для решения задач промышленной теплоэнергетики: учебное пособие. — М.: Издательство МЭИ, 2016. — 88 с.

И.Д. Калякин, асп.; А.И. Бартенев, асп.; рук-ли И.А. Султангузин, д.т.н., проф.; Ю.В. Яворовский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК ЗДАНИЙ КАК ОСНОВНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ БАЛАНСЕ ГОРОДА

Структура топливно-энергетического баланса (ТЭБ) городов непрерывно меняется. Требования к эффективности энергетических систем повышаются с каждым годом. Одним из инструментов повышения энергоэффективности теплоэнергетических систем является их математическое моделирование.

В системах теплоснабжения городов в большинстве случаев основным потребителем тепловой энергии являются здания: жилые, административные, общественные, и т.д. Теплопотребление на вентиляцию, горячее водоснабжение и отопление зданий зависит от ряда факторов, основными из которых являются климатические особенности расположения, размер площади помещений, ограждающие конструкции, сама структура жилого, общественного, административного фондов. Также имеет важную роль доля новых зданий, построенных по современным технологиям, соответствующим мировым стандартам энергосбережения, и старых, построенных по устаревшим нормам. Результаты предыдущих численных исследований показывают, что годовое энергопотребление зданий на отопление можно снизить до 15 кВт·ч/год для общественных зданий и 40 кВт·ч/год для индивидуальных домов.

Анализ потребителей тепловой энергии даёт возможность вычислить нагрузки, что, в свою очередь, определяет структуру источников и сетей.

Для определения вектора развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) города необходимо построение многоуровневой модели ТЭБ, с помощью которой можно выполнить оптимизацию нагрузок и конфигурацию системы. С учётом того, что климатические и экономические условия, технологии и стандарты энергоэффективности меняются со временем, ключевой возможностью математической модели ТЭБ должно являться построение прогноза и оперативное внесение поправок в алгоритм расчёта.

В данной работе рассматривается моделирование тепловых нагрузок зданий как основных потребителей тепловой энергии в ТЭБ города на примере Москвы. Результаты будут исходными данными для верхних уровней модели ТЭБ. Прогнозирование предполагается для периода с 2020 до 2050 года со ступенью в 5 лет.

Д.А. Макуева, студ.; рук. А.Е. Кондратьев, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА В ТЕПЛООБМЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ГЕОМЕТРИИ КАНАЛА

В данной работе рассматривается возможность увеличения коэффициента теплопередачи со стороны внутренней поверхности трубы за счет усложнения геометрии внутритрубного пространства.

При разработке конструкций аппаратов с интенсификацией теплообмена перед производителями ставятся цели увеличения тепловой мощности и уменьшение массогабаритных характеристик теплообменника.

Посредством интенсификации теплообмена аппаратов увеличивается тепловая мощность, количество тепла, передаваемого через единицу поверхности, и, соответственно уменьшение габаритов оборудования [1]. Развитые поверхности, наиболее часто называемые ребристыми, обеспечивают эффективное увеличение площади поверхности теплоотдачи, а также воздействуют на поток, возмущают его и дополнительно интенсифицируют теплоотдачу. Целесообразно интенсифицировать теплообмен там, где сосредоточено термическое сопротивление, то есть в пристенных областях [2].

Устройства, закручивающие поток в каналах: спиральные ленты, шнеки и т.д. Благодаря закручиванию потока теплоносителя в трубе, центробежные силы оттесняют поток к стенке трубы, следовательно возникает вторичное поперечное течение среды и увеличение пристенной скорости потока. Последнее содействует улучшению теплообмена в аппарате [3]. Применение витых труб экономит 20–50% площади теплообмена и, как следствие, до 20–30% себестоимости теплообменника.

Вывод: предлагаемые методы интенсификации теплообмена в теплообменном оборудовании позволят повысить экономичность энергоустановок.

Литература

1. **Ибрагимов У.Х.** Выбор и сравнение эффективности методов интенсификации теплообмена в промышленных теплообменных аппаратах // Молодой ученый. — 2017. — №24. — с. 145–147.
2. **Кишкин А.А., Краев М.В., Зуев А.А.** Интенсификация теплообмена. [Электронный ресурс]. https://cyberleninka.ru/article/n/intensifikatsiya-teploobmena/viewer. (дата обращения: 12.11.19).
3. **Попов И.А., Гортышов Ю.Ф., Олимпиев В.В.** Промышленное применение интенсификации теплообмена — современное состояние проблемы // Теплоэнергетика, 2012, №1, с. 3–14.

А.А. Ибадов, асп.; рук. А.Е. Кондратьев, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА АНАЛИЗОМ ПАРАМЕТРОВ ВОЛН ЛЭМБА

Длительная эксплуатация энергетических трубопроводов, на которые оказываются внутренние и внешние воздействия, приводит к образованию дефектов, в виде появления трещин и усталости на поверхности, коррозии или деградации самого материала. Современные методы неразрушающего контроля позволяют избежать нежелательных последствий увеличения дефектов на трубопроводах. В результате аналитической работы, был рассмотрен виброакустический метод неразрушающего контроля, в основе которого положено последовательное использование метода возбуждения и анализа параметров распространения, бегущих волн Лэмба.

Изучением двумерных волн в пластинах занимался английский математик и гидродинамик Сэр Гораций Лэмб. В своей работе он получил дисперсионные уравнения для симметричных и несимметричных мод таких волн. Для решения волнового уравнения упругого полого цилиндра, распространение неосесимметричных волн аналогично распространению волн Лэмба в развернутых трубах [1].

В работе представлено воздействие различных видов дефектов исследуемого образца на основные параметры волн Лэмба. Применение существующего метода, описанного в [2] позволяет оценивать суммарную площадь дефектной зоны. Данный метод заключается в последовательном возбуждении виброакустических волн Лэмба в участках объекта и измерении времени, за которое распространяется сигнал. С учетом заданных значений скорости распространения волны Лэмба и толщины объекта, искомые характеристики сигнала восстанавливаются. Данный метод применим для диагностики как пластинчатых, так и для многослойных цилиндрических изделий с заданным поперечным размером.

Предлагаемый метод, основанный на распространении упругих волн Лэмба, позволяет упростить контроль местоположения заглубленных трубопроводов, повышая избирательность контроля.

Литература

1. **Баянов Е.В., Гулидов А.И.** Распространение упругих волн в трубе // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. — 2012. — с. 100–103.
2. **Баев А.Р., Прохоренко П.П.** Особенности распространения волн Лэмба в тонких двуслойных материалах // Вестник БНТУ. — №4–2008. — с. 52–55.

Л.М. Лукьянов, студ.; рук. Н.А. Логинова, к.т.н.
старший преп. каф. ПТС (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ МАЛОМОЩНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

В ходе работы был проведён анализ комбинированных энергетических комплексов, в т.ч. тригенерационных. Было выявлено, что создание комбинированных энергетических комплексов с использованием ВИЭ (возобновляемых источников энергии) весьма перспективно и актуально, как для крупных потребителей энергии (заводы, объекты производства, населённые пункты), так и для малых (коттеджи, дачные участки, небольшие объекты в пределах нескольких зданий). В первом случае ВИЭ, как правило, используется совместно с миниТЭЦ, которая при этом является основным источником энергии [1, 2], во втором энергетическая установка на базе ВИЭ является основным источником энергии.

Наличие большого количества малых водных ресурсов в равнинной местности нашей страны делает возможным решать проблему энергоснабжения локальных маломощных потребителей, в том числе и находящихся в удаленных от централизованного электро- и теплоснабжения районах, используя микроГЭС [3]. В этой связи анализировались также возможные схемы тригенерации на базе микроГЭС, без резервного источника энергии и с резервным генератором. Было выявлено, что подобные схемы эффективно использовать малым потребителям, находящимся в непосредственной близости с водоёмами, вместе с тем, необходимо учитывать непостоянство параметров, присущее всем ВИЭ, требующим дублирующих источников энергии, которые, в свою очередь, влекут дополнительные затраты на оборудование.

Литература

1. **Денисов-Винский Н.Д**. Мини-ТЭЦ как надёжное средство решения проблемы энергообеспечения// Энергобезопасность в документах и фактах, 2007 г. №2 (14).
2. **К.М. Сидоров, В.Е. Ютт, Т.В. Голубчик** Комбинированные энергетические установки в системе автономного электроснабжения // Вестник МАДИ, 2013 г. №4 (35),
3. **Логинова Н.А., Волков А.В., Дружинин А.А.** и др. Исследование устойчивости параметров системы автоматического управления комплексом тригенерации на базе микроГЭС // Насосы. Турбины. Системы, №2 (31), 2019. — С. 14–22

Р.Р. Ротач, асп.;
рук. Ю.В. Ваньков, д.т.н., проф. (ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЭЦ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ВИНТОВЫХ ДЕТАНДЕРОВ

Целью работы является повышение эффективности работы Казанской ТЭЦ-1 за счет использования свободного перепада давления пара для выработки электрической энергии в винтовом детандере (паровой винтовой машине — ПВМ).

Паровая винтовая машина является ротационной машиной объемного типа и по принципу действия представляет собой обращенный винтовой компрессор сухого сжатия. Конструктивно ПВМ состоит из корпуса, в котором размещены два ротора, являющиеся рабочими органами, подшипники скольжения, уплотнения и другие узлы и детали. В хвостовой части машины расположен асинхронный генератор, соединенный компенсирующей муфтой с ПВМ.

На Казанской ТЭЦ-1 для подогрева обессоленной воды в деаэраторах низкого давления (ДНД) используют пар 1,2 ата. Источником пара 1,2 ата является паровая турбина ПТ-65-130/13. При дефиците теплофикационных отборов 1,2 ата этих турбин, используется редукционно-охладительная установка (РОУ 13/1,2).

Основным недостатком использования РОУ 13/1,2 заключается в дросселировании пара, так как это приводит к потере его работоспособности.

В целях полезной утилизации пара предлагается установить ПВМ параллельно РОУ 13/1,2. Данное техническое решение позволит получать пар необходимых параметров, а также электроэнергию на собственные нужды.

Литература

1. **Гузаиров Р.М., Ахметшин Р.М.** Паровой винтовой машины еще нет в словарях// Инженерные системы. 2009. №3. с. 6–9.
2. **Березин С.Р.** Винтовые детандеры: учебное пособие. — Уфа, УГАТУ, 2010. — 53 с.
3. **Березин С.Р., Богачева А.И.** Технология энергосбережения на базе паровой винтовой машины//Энергосовет. 2010. №7. с. 53–58.

A.A. Shchepetkov, Student; supervisor: A.V. Fedyukhin,
Associated Professor, Ph. D. (NRU «MPEI», Moscow)

PRODUCTION OF THERMAL AND ELECTRIC ENERGY ON LIVESTOCK FARMS USING BIOGAS

Hydrocarbon waste (such as animal waste) is assessed as possible additional energy sources. Therefore, the relevant task is the processing of illiquid biomass into products and fuel, which can be used as efficiently as possible in the existing infrastructure. The rational use of waste is associated, on the one hand, with the possibility of using the huge energy potential of biomass to produce liquid and gaseous fuels, and on the other, with the need to prevent contamination of the soil and water bodies by bacteria in waste from livestock farms. One of the most effective ways of treating livestock waste is anaerobic decomposition or biogasification. Fermentation of raw materials occurs due to special bacteria. In this case, not only the resulting methane is used, but also the remains of fermentation, which are used as organic fertilizers. The production of methane, which is the main combustible component of biogas, in the process of anaerobic decomposition in this case is 0.01–0.025 kg / (m^3 * h) [1].

In livestock farms, biogas can be used for the combined production of heat and electricity, which is used in for technological processes. In the production of electricity from biogas, only 30% is converted to electric current, and the rest is waste heat. This heat can be used, for example, to create the required fermentation temperature in biogas reactors, to heat residential and industrial premises, to heat domestic water and livestock [2]. The easiest way is to burn biogas in gas burners, as the gas can be supplied at low pressure.

The use of biogas plants will reduce the cost of paying for energy resources, as well as solve the problem of the disposal of toxic waste from farms and improve the sanitary and hygienic situation in the country as a whole and for individual farmers in particular [3].

References

1. **Sofer S., Zaborsky R.** Biomass conversion process for energy and fuel. M.: Mir, 1985.
2. **Panshva E.S.** Bioenergy. World and Russia. Biogas: Theory and practice. «KnoRus», 2014.
3. **Vedeneev A.G., Vedeneeva T.A.** Biogas Technology Guide. «DEMI», 2011.

Е.И. Чернова, Е.А. Севастьянова, студенты;
рук. Л.В. Плотникова, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

СТРУКТУРНО-ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОСИСТЕМ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЭК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Предприятия топливно-энергетического комплекса (ТЭК) России является наиболее энергоемким компонентом производственной индустрии страны. Энергетические системы таких предприятий состоят из многоэлементных схем, каждый элемент характеризуется параметрами: давление, температура, расход. Такие схемы отличаются сложной структурой, что приводит к многочисленному числу итераций при расчете схем из-за наличия в них замкнутых контуров. Здесь возникает необходимость использования актуальных методик анализа, которые позволяют осуществлять последовательный расчет схемы с минимумом итераций [1]. Предлагается использовать системный анализ, который состоит из этапа анализа структуры схемы производства и этапа термодинамических расчетов [2]. Для проведения термодинамических расчетов в соответствии с результатами структурного анализа разработано объединенное программное обеспечение (ПО). ПО запрашивает исходные данные, которые нужны на очередном шаге расчета согласно выявленной на этапе структурного анализа кратчайшей последовательности.

На примере участка картоноделательной машины целлюлозно-бумажного производства с помощью ПО получены результаты. В ПО осуществляется ввод параметров потоков блока картоноделательной машины при вводе матрицы схемы на этапе структурного анализа и ввод формул для элементов схемы. Далее по введенным параметрам для каждого потока определяются значения тепловой и эксергетической мощности, значения тепловых и эксергетических к. п. д. По результатам работы ПО определена наибольшая эксергетическая мощность среди выходных потоков схемы — у потока конденсата и у потока воздуха. Следовательно, далее необходимо рассмотреть возможность возврата энергии этих потоков в данную схему.

Литература

1. **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. С. 21–27.
2. **Меркер Э.Э.** Энергосбережение в промышленности и эксергетический анализ технологических процессов. М.: ТНТ, 2014. 316 с.

Е.М. Тябут, студ.; рук. А.В. Рыженков, д.т.н.; (НИУ «МЭИ»)

О МОДЕЛИРОВАНИИ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ЗДАНИЯ

В связи с быстрым развитием энергоемких отраслей в последние два десятилетия общемировое потребление энергии выросло на 49%, в то время как на здания приходится около 30%. Таким образом, растущий спрос на отопление, охлаждение и электроснабжение в зданиях стимулирует поиск более эффективных и энергосберегающих методов производства, сохранения и использования энергии. Одним из наиболее простых решений, позволяющих улучшить энергоснабжение зданий, является внедрение в существующую систему устройств, работа которых основана на использовании возобновляемых источников энергии [1].

Традиционно оценку эффективности использования различных решений и их влияние на эффективность системы производят на основе математической модели. В рамках работы авторами была проведена оценка эффективности использования геотермального теплового насоса для нужд теплоснабжения отдельно стоящего здания в отопительный период и для пассивного охлаждения в межотопительный период. Начальная температура грунта составляет 7°C. Было установлено, что с каждым последующим годом эксплуатации процесс восстановления температурного потенциала грунта за летний период полностью происходить не будет. За один отопительный период температура снизится примерно на 8°C, после чего за летний период поднимется на 2°C. Таким образом, спустя 10 лет эксплуатации после отопительного периода температура грунта составит –3°C, а затем поднимется до 5°C.

Следует отметить, что разработанная математическая модель позволяет проводить лишь ограниченное исследование работы системы. Для возможности моделирования инвариантных схем энергоснабжения и функционирования всех систем жизнеобеспечения в целом разработан «цифровой двойник» здания. Модель здания и обозначение граничных условий работы выполнено на основе программного комплекса Openstudio и EnergyPlus. Использование «цифрового двойника» позволит моделировать работу энергоснабжения здания в реальном времени в зависимости от климатических условий и других параметров.

Литература

1. **Zhang Yin, Long Enshen, Zhao Xinhui**. Combined solar heating and air-source heat pump system with energy storage: thermal performance analysis and optimization. Procedia Engineering, volume 205 (2017), pages 4090–4097.

Е.Ю. Каткова, студ.; рук. Е.Г. Гашо, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА И ВИЭ НА ПРИМЕРЕ ОСТРОВА СОЛОВЕЦКИЙ

Основная задача обеспечения потребностей населения, промышленности и сельского хозяйства тепло- и электроэнергией, в северных климатических условиях, учитывая рост цен на топливо и истощение традиционных ресурсов, приводят к необходимости развития нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ).

Основными факторами, для выбора схемных решений являются: экологичность, экономичность и визуальная эстетика, ввиду отношения Соловецкого уникального природного и историко-культурного комплекса в список Всемирного наследия ЮНЕСКО.

Была изучена система энергоснабжения острова, рассчитаны нагрузки, проведен анализ действующего оборудования, учитывая туристический сезон на острове. Так же изучены дополнительные возможности применения установок на основе топливного элемента и ВИЭ. После изучения, разработана и спроектирована рекомендация по переходу на оптимальный для острова система энергоснабжения с учетом альтернативных источников энергии. Данная разработка помогает снизить и экологическое воздействие на окружающую среду. Кроме того, проведена технико-экономическая оценка разработанной гибридной системы и составляет порядка 900 млн. руб., что практически в 3 раза меньше затрат на прокладку нового электрического кабеля.

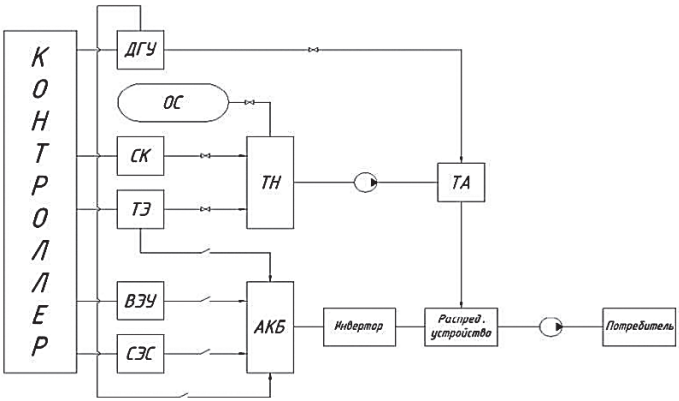


Рис. 1. Спроектированная ГибЭС для острова Соловецкий в общем виде

А.С. Черных, асп.; Д.Г. Птушкин, студент рук-ль.
И.А. Султангузин, д. т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РОТОРНОГО ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА

Современные требования к обеспечению бесперебойной работы системы транспортировки, распределения и подачи природного газа потребителям предполагают широкое применение источников автономного энергоснабжения технологических объектов газовой промышленности, в том числе с использованием бестопливных технологий генерации энергии. Одним из таких источников являются детандер-генераторные агрегаты, в которых энергия потока транспортируемого природного газа преобразуется сначала в механическую энергию в детандере, а затем в электрическую энергию в генераторе. Наиболее хорошо изучены и получили распространение турбинные детандер-генераторные агрегаты (ТДГА), однако они способны эффективно работать при высоких (свыше 300 нм^3/ч) расходах газа через турбину, т.е. преимущественно на крупных ГРС, ТЭС и т.п. Для выработки электроэнергии на газорегуляторных пунктах (ГРП) при малых отборах газа потребителями (особенно в летний период) целесообразнее использовать роторные ДГА. В процессе создания опытного образца роторного ДГА необходимо произвести гидравлический расчет его проточной части, определить зависимость выходной мощности от расхода и перепада давления газа, оценить эффективность выработки электроэнергии при различных режимах работы, подобрать требуемую трубопроводную и запорно-регулирующую арматуру. С этой целью была разработана математическая модель роторного ДГА в среде Microsoft Excel с визуализацией гидравлической схемы (рис. 1) интеграции ДГА на ГРП и отображением параметров в контрольных точках, позволяющая решить вышеперечисленные задачи.

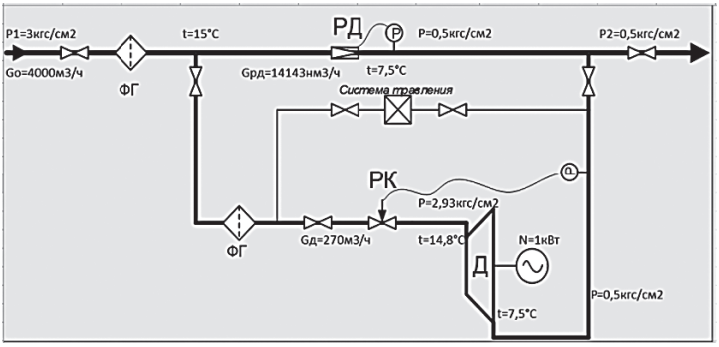


Рис. 1. Гидравлическая схема включения ДГА на ГРП

К.А. Тихомирова, студент;
рук. А.С. Маленков, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ», Москва)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Проблемы наличия неоптимального теплогидравлического режима работы системы теплоснабжения в целом и отсутствии возможности оперативного анализа показателей работы системы могут быть решены за счет совместного использования дискретных математических моделей тепловых сетей и аналитической системы, интегрированной с АСУ ТП. Благодаря такому решению возможно выполнять интеллектуальный мониторинг и управление режимами работы, которые позволят выявлять предаварийные ситуации и поддерживать заданный режим работы тепловой сети [1].

На данный момент существующие информационно-вычислительные комплексы применяются в тепловых сетях в основном для сбора показаний приборов учета, установленных на ЦТП или ИТП и их хранения в базах данных. Использование таких комплексов не позволяет достичь повышения качества теплоснабжения, либо экономии энергоресурсов [2]. Поскольку в существующих комплексах не производится анализ собранных данных и динамики их изменения, а также отсутствует возможность аналитического выявления аномалий, которые могут быть не замечены обслуживающим персоналом в процессе эксплуатации.

Данная работа направлена на разработку решения, направленного на устранение перечисленных недостатков. В качестве первого шага произведена «типизация» возможных отклонений, возникающих при работе тепловой сети, и причин, которые к ним приводят, для возможности формализации задачи поиска данных отклонений с помощью анализа данных поступающих от АСУ ТП.

Литература

1. **С.В. Косяков, А.М. Садыков, В.В. Сенников, В.В. Смирнов.** Повышение эффективности эксплуатации систем централизованного теплоснабжения на основе применения информационной системы мониторинга тепловых сетей. Вестник ИГЭУ. 2018. №2. С. 57–66.
2. **Ю.В. Яворовский, В.В. Смирнов, В.В. Сенников, С.В. Косяков, А.М. Садыков**. Технология мониторинга и оптимизации режимов работы тепловой сети (в рамках концепции «умного города»). Энергосбережение — теория и практика. 2018. С. 251–253.

Е.Е. Кабина, студ.; рук. Е.В. Жигулина, к.т.н., доц.,
В.Г. Хромченков ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ АБСОРБЦИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

На сегодняшний день достаточно остро стоит проблема повышения эффективности работы основного электроэнергетического оборудования теплоэлектростанций (ТЭС), в связи с чем активно разрабатываются способы совершенства тепловых схем энергоблоков станций, работающих на ископаемом топливе. Одним из таких способов является внедрение тепловых насосов в цикл работы станции [1].

В настоящее время известен опыт внедрения абсорбционного теплового насоса (АБТН) в тепловую схему работающей теплоэлектроцентрали в Китае для повышения ее эффективности. В результате отработанное тепло, которое изначально выбрасывалось в атмосферу через градирню, теперь стало пригодным для последующего использования в качестве предварительного нагрева возвратной воды. Кроме этого, было произведено и передано потребителю большее количество теплоты за счет того же количества потребленного на ТЭС топлива. Применение АБТН поспособствовало снижению потерь теплоты в градирне, в том числе, за счет снижения потерь с уносом циркуляционной воды. [2]

Повышение энергоэффективности на ТЭС может быть достигнуто за счет внедрения АБТН в тепловую схему для частичного замещения теплофикационной нагрузки за счет отборов паровой турбины в двух режимах. Первый режим заключается в выработке дополнительной электроэнергии благодаря снижению давления в конденсаторе за счет снижения температуры в системе водяного охлаждения после градирни при постоянном расходе острого пара в головную часть паровой турбины. Второй же режим предполагает экономию в расходе органического топлива, подающегося в котёл при неизменной величине электрической мощности. Был произведен экономический анализ целесообразности применения АБТН на ТЭС. При этом срок окупаемости составил 4 года.

Литература

1. **Романюк В.Н.** Абсорбционные тепловые насосы в тепловой схеме ТЭЦ для повышения ее энергетической эффективности. Москва. 2013 г.
2. **Waste heat recovery of power plant with serial absorption heat pumps**. [Электронный ресурс] // Журнал, 2018 г. URL: https://www. sciencedirect.com/ (дата обращения: 10.10. 2018).

А.М. Васильева, студ.; рук. Е.В. Жигулина к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЁТ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЯ ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА «ЖК ПАРК НА ФАБРИЧНОЙ» С ОПТИМИЗАЦИЕЙ ЕГО ИЗОЛЯЦИИ

Актуальность работы заключается том, что значительная часть затрат энергоресурсов в жилом фонде приходится на отопление. Около 40% тепла уходит через оконные и дверные проёмы, остальные 60% через перекрытия и через стены. Поэтому одно из мероприятий по энергосбережению в жилищном фонде-применение хорошего изоляционного материала.

В качестве объекта исследования был выбран жилой комплекс с теплоизоляционным материалом, предусмотренным проектом. Были определены теплопотери через ограждения каждой квартиры, проведён расчёт тепловых нагрузок на отопление и ГВС. Был осуществлён выбор изоляционного материала и определена его оптимальная толщина. Также был произведен сравнительный экономический анализ использования ряда изоляционных материалов. Был произведен выбор оптимального изоляционного материала с учетом его стоимости и эффективности. Учитывалось соответствие каждого изоляционного материала пожарной безопасности. Проектом жилого комплекса было предусмотрено использование минеральной ваты в качестве изоляционного материала. Была рассмотрена возможность применения других изоляций, лучших по характеристикам (экструдированный пенополистирол и ППУ). При расчёте было учтено, что с увеличением толщины цена изоляции увеличивается.

Результаты исследования показали, что отопительная нагрузка здания без применения изоляции в два раза больше, чем с использованием минеральной ваты, предусмотренной проектом. Сравнительный анализ материалов, полученный с учётом чистого дисконтируемого дохода, показал, что наиболее выгодным материалом для применения его в качестве изоляции является экструдированный пенополистирол. Оптимальная его толщина составляет 0,25 м, в случаем применения минеральной ваты, её оптимальная толщина должна составлять 0,3 м, а ППУ 0,2 м, но он не выгоден с точки зрения оценивания его по ЧДД.

Литература

1. Руководство по расчету теплопотерь помещений и тепловых нагрузок на систему отопления жилых и общественных зданий / РНП «АВОК» 2.3–2012
2. **Ануфриев В.П., Кулигин А.П**. Низкоуглеродная экономика, Энергоэффективность, Устойчивое развитие/ Текст научной статьи, 2011 г.
3. **Шелгинский А.Я.** Системы отопления жилых, общественных и производственных зданий / Учебное пособие — МЭИ,2012 г-115 с.

Ф.А. Судаков, студ.; рук. Е.В. Жигулина к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЯ НТБ МЭИ

Работа посвящена расчетно-экспериментальному исследованию систем вентиляции и кондиционирования в здании научно-технической библиотеки московского энергетического института (НТБ МЭИ) с целью повышения энергоэффективности здания и соблюдения заданных параметров микроклимата помещений в соответствии с действующими нормами.

Был проведен соответствующий тепловой расчет с целью выбора утеплителя для существующих ограждающих конструкций здания и расчет по заполнению оконных проемов, через которые наблюдаются значительные теплопотери.

В здании НТБ МЭИ работает около 50 человек, а максимальное количество посетителей составляет 380 человек, с учетом заполнения всех залов библиотеки. Расход приточного воздуха на одного посетителя был принят равным 20 м^3/ч, на служащего 40 м^3/ч. [1]

Расчет вентиляции был произведен с учетом двух параметров: кратности воздухообмена и санитарно-гигиенических норм в расчете на одного человека. Исходя из [2] помещение архива, в котором хранится более 1 млн. экземпляров (на данный момент в архиве НТБ МЭИ находится более 1,3 млн. книг и учебных пособий) должна обслуживать независимая приточно-вытяжная система, при этом рециркуляция воздуха в помещениях таких архивов исключена. В связи с этим были спроектированы и рассчитаны две приточно-вытяжные системы для всего здания НТБ МЭИ.

Для комплексной модернизации здания, включая всю его инженерную инфраструктуру, целесообразно внедрить систему интеллектуального управления работы климатического оборудования для автоматического поддержания требуемых параметров воздуха в здании.

Литература:

1. **А.Я. Шелгинский, М.Н. Степаненко, А.С. Маленков и др.** Вентиляция воздуха в производственных, общественных и жилых зданиях: учеб. пособие. М.: Издательство МЭИ, 2017. — 116с.
2. **Свод правил 50.13330.2012**. Тепловая защита зданий. М.: Минрегион России, 2012 год.

В.В. Шамаева, студ.; рук. А.В. Федюхин, к.т.н., доцент

РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ ЯКУТИИ

Энергетический потенциал большинства возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в масштабах планеты и отдельных стран во много раз превышает современный уровень энергопотребления, в связи с этим они могут рассматриваться как возможный источник производства энергии.

Целью настоящей работы является анализ развития энергетики на основе возобновляемых источников энергии в условиях Якутии.

Материалы и методы: методы анализа и обобщения данных, приведенных в научно — технической литературе, Программе развития электроэнергетики Республики Саха (Якутия) [1].

Результаты и обсуждение: ВИЭ в силу их высокой капиталоемкости на современном этапе и в ближайшей перспективе могут эффективно использоваться только в зоне децентрализованного электроснабжения.

На 2018 г. в республике функционировало 22 возобновляемых энергоисточника суммарной мощностью 1657 кВт, из них: 21 солнечных электростанций (СЭС) суммарной мощностью 1617 кВт и 1 ветроэлектростанция (ВЭС) мощностью 40 кВт.

Выработка электроэнергии возобновляемыми источниками в 2018 составила 1343 тыс. кВт·ч. За рассматриваемый период выработка электроэнергии увеличилась в 10 раз за счет интенсивного ввода солнечных электростанций в 2015 г. суммарной мощностью 1,1 МВт.

Все энергетические объекты на ВИЭ размещены в улусах, электроснабжение которых осуществляют подразделения АО «Сахаэнерго». В 2019 г. и далее выработка электроэнергии ВИЭ оценивается порядка 3,6 млн кВт·ч, из них 2,25 млн кВт·ч ВЭС и 1,35 млн кВт·ч СЭС. Значительное увеличение выработки электроэнергии в рассматриваемый период связано с вводом ВЭС в п. Тикси.

Выводы: В силу особенностей природно-географического положения Якутии энергетическая отрасль имеет для нее особое значение. Основная цель применения ВИЭ — сокращение расхода дизельного топлива, снижение затрат на его завоз и использование. Республика Саха (Якутия) обладает значительным потенциалом возобновляемых природных энергоресурсов, позволяющим эффективно применять их на объектах локальной энергетики. В этой связи применение возобновляемых источников энергии является крайне актуальным.

Литература

1. Программа развития электроэнергетики Республики Саха (Якутия) на 2019–2023 годы. Утвержденная Указом Главы Республики Саха (Якутия), 2019 г.

Е.В. Храмова, студ.; рук. Л.В. Плотникова, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

РАБОТА ПАРОКОМПРЕССИОННОГО ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРА НА РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ

На промышленных и энергогенерирующих объектах существует проблема утилизации сбросной низкопотенциальной теплоты, значительное количество которой сбрасывается в окружающую среду, хотя может быть использовано для собственных нужд предприятия. В системах комплексной утилизации сбросной тепловой энергии использование парокомпрессионных теплотрансформаторов (ТТ) позволяет повысить изначально низкотемпературный потенциал потоков отработанной энергии.

Перспективным источником теплоты для работы парокомпрессионных ТТ на энергогенерирующих объектах является охлаждающая вода конденсаторов паровых турбин. Использование ее энергии позволяет снизить количество сбрасываемой теплоты; сократить расход циркуляционной воды, поступающей на градирни; сократить расход электроэнергии на привод циркуляционных насосов [1].

На промышленных объектах при разделении веществ образуется низкотемпературная вторичная энергия в виде сбрасываемой теплоты полупродуктов разделения. Сбрасываемая теплота верхнего продукта колонны может повысить свой потенциал в ТТ и использоваться далее для нагрева нижнего продукта колонны, тем самым снижая затраты греющего теплоносителя в кубе колонны [2]. Ряд проведенных расчетов показал, что применение парокомпрессионных ТТ наиболее целесообразно на промышленных объектах. Так, коэффициент преобразования теплоты ТТ при включении его в схему ТЭЦ и работе на оборотной воде градирен составил 4,58, а при включении ТТ в схему разделения веществ на нефтехимическом предприятии и работе на верхнем продукте колонн составил 7,45 [3].

Литература

1. **Замалеев М.М., Шарапов В.И.,** Организация полезного использования «сбросной» теплоты на ТЭЦ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. Т. 1. №11–12.
2. **Александров И.А., Ефремов Г.И., Брюзгинов Е.В.** Применение и теплового насоса в процессах ректификации // Энергосбережение и водоподготовка. 2007. Т. 1. №1 (45).
3. **Храмова Е.В**. Эффективность трансформаторов теплоты и их использование в качестве энергосберегающей технологии для ТЭЦ // Инженерные кадры — будущее инновационной экономики России. 2018. №1.

Д.А. Кравцов, студ.; рук. А.Я. Шелгинский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ КОММУНИКАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Особо важные коммуникационные линии крупных городов располагаются в специальных коллекторах, требующих поддержания соответствующих климатических условий внутри коллектора по температуре, кратности воздухообмена, скорости движения воздуха. Из-за многокилометровой протяженности коллекторов они разбиваются на отдельные участки и для каждого разрабатывается энергетическая система жизнеобеспечения обеспечивающая: технологические требования — круглосуточно; санитарно-гигиенические — во время пребывания обслуживающего персонала в коллекторе; взрывобезопасности — в случае проникновения в коллектор метана.

В известных методиках расчета систем вентиляции коллекторов [1,2,3] используют весьма приближенные допущения. Например, при расчетах используется средняя температура воздуха по длине рассматриваемого участка коллектора. При нахождении приточной и вытяжной шахт на одной высотной отметки, по предлагаемым расчетам отсутствует естественная тяга, что не соответствует действительности, т.к. температура воздуха внутри коллектора у приточной и вытяжной шахт всегда отличаются. Кроме того, в коллекторах с большими тепловыделениями температура воздуха на определенном участке может превысить допустимую.

Для совершенствования методов расчета систем вентиляции в данной работе создана математическая модель и алгоритм её решения с определением изменения температурного поля вдоль участка коллектора от приточной до вытяжной шахты. Это позволит точнее определять тепловые нагрузки и подбирать инженерное оборудование для коммуникационных коллекторов.

Результаты работы будут апробированы при строительстве коммуникационного коллектора в микрорайоне «Поселок социальный» г. Москвы.

Литература

1. **Малашкина В.А. Кобылкин С.С. Воробьев О.В.** Проектирование системы отопления, вентиляции и кондиционирования в коммуникационных коллекторах. М.: СТО. 2017.
2. **Зотикова А.П. Каменов П.П.** Указания по проектированию вентиляции общих коллекторов для подземных сетей населенных мест. М.: Инженерно-Строительный университет им. В.В. Куйбышева, 1965.
3. **Казинин Е.В. Рыманов А.Г.** Рекомендации по пректированию вентиляции городских коллекторов для инженерных комуникаций. М.: МГСУ, 2008.

Секция 37.
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ И ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Председатель секции — Славнов Юрий Алексеевич
Секретарь секции — Курочкин Семен Васильевич

С.В. Курочкин, асп.; О.П. Солдатов, студ.;
рук. В.Н. Кулешов, к. т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЩЕЛОЧНОЙ ЭЛЕКТРОЛИЗ ВОДЫ ПОД ДАВЛЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ НЕВЕСОМОСТИ

В настоящее время электролиз воды в условиях невесомости находит всё более широкое применение в качестве источника чистого кислорода в системах жизнеобеспечения пилотируемых орбитальных космических станций, и водорода для получения топлива, используемого в микрореактивных двигателях, отвечающих за корректировку орбиты малых спутников и кубсатов, позволяя не использовать ядовитые виды топлива [1]. Однако электролизёры стандартной конструкции имеют раздельные системы циркуляции электролита или воды, системы термостатирования, систему разделения и очистки газов. Из-за жёстких масса-габаритных ограничений в космической технике возникает необходимость объединить все эти блоки и отказаться от использования насосной группы. Для объединения всех вышеперечисленных блоков и уменьшения их объёмных и массовых характеристик в ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» совместно с РКК «Энергия» был предложен новый цилиндрический тип конструкции щелочной электролизной установки воды. При необходимости генерации осушенных газов без дополнительных блоков очистки было предложено охлаждать электролизную установку практически до температуры плавления 30% раствора КОН, обеспечивая конденсацию всей влагу из производимых газов. Подвод основных реагентов для электрохимической реакции обеспечивали капиллярные фитили. Для сборки и произведения всесторонних испытаний была использована элементная база, разработанная и производимая кафедрой Химии и Электрохимической Энергетики ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» [2]. В качестве газоразделительного материала был выбран диафрагменный материал, получаемый методом фазовой инверсии. С целью снижения энергопотребления использовались пористые электроды с никелевым покрытием. В результате проведённого комплекса испытаний электрохимической группы генератора водорода и кислорода было достигнуто давление в 10 МПа, а также подтверждена возможность запуска изделия в условиях отрицательных температур.

Литература

1. **Королёв С.П., Кулешов Н.В., Кулешов В.Н. и др.** Электролизёр высокого давления с фитильной подачей воды для работы в невесомости // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2019. №2. С. 68–77.
2. **Kuleshov V.N., Kuleshov N.V., Dovbysh S.A., Grigoriev S.A., Kurochkin S.V., Millet P.** Development and characterization of new nickel coatings for application in alkaline water electrolysis // International J. Hydrogen Energy. 2019. V 44 (56). P. 29441–29449.

А.В. Чижов студ.; А.В. Рябухин студ.; Д.Б. Коростелева студ.;
М.А. Климова асп.; рук. С.И. Нефедкин д.т.н., проф. (НИУ»МЭИ»)

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ Pt-Zr ДЛЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ПОЛУЧЕННЫЕ МАГНЕРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

Актуальной задачей удешевления технологии водород-воздушных топливных элементов с протон проводящей мембраной является разработка катализаторов с уменьшенным содержанием платиновых металлов. Такие требования сформулированы в дорожной карте развития технологий топливных элементов [1]. Одно из направлений — это использование более дешевых функциональных разбавителей. В качестве таких компонентов-разбавителей для катодного катализатора предложены TiO_2, SiO_2, NiO, CeO_2. Они используются не только как компоненты катализатора, но и в качестве промежуточного нано структурированного подслоя на углеродном носителе. Такой подход позволяет не только снизить закладку платины в электрод, но и улучшить связь нано частицы катализатора с электродом, увеличивает его активность, также повышает коррозионные свойства носителя. В данной работе в качестве такого функционального разбавителя предложен и исследован цирконий. Нанесение тонких дисперсных слоев проводилось на магнетронной установке «Краудион» путем последовательного распыления циркониевой и платиновой мишеней на подложку из титановой фольги и газодиффузионного электрода. Кроме того, такие слои наносились из смешанной мишени на основе циркония, с вставками платины. При этом варьировалось содержание в аргоновой плазме реактивного газа кислорода в диапазоне от 25 до 75%.

Проведенные исследования по изучению влияния дисперсного подслоя под платиновым катализатором на поверхности сажи показали, что исследуемые материалы (диоксид титана и диоксид циркония) повышают удельную активность платины за счет создания более дисперсной структуры носителя. Сами носители не оказывают существенного влияния на омические характеристики при переносе заряда. Подслой диоксида циркония в большей степени повышает активность платинового катализатора (почти в 5 раз). Еще большую активность показали катализаторы, синтезированные в магнетроне из смешанной Pt-Zr мишени.

Следует продолжить исследования для получения большей активности на оптимизированных и тонких каталитических структур.

Литература

1. U.S. Department of Energy Hydrogen and Fuel Cells Program, «Record 14014: Fuel Cell System Cost — 2014. Электронный ресурс: http://www.hydrogen.energy.gov/program_records. html, 2014

Н.А. Гусева студент; рук. С.Е. Смирнов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЛИТИЙ-ПОЛИМЕРНОГО АККУМУЛЯТОРА ДЛЯ КВАДРОКОПТЕРА.

Современная техника становится все более компактной, что в свою очередь стимулирует разработку мелких, гибких и более емких источников питания. Требования от потребителей к химическим источникам тока постоянно возрастают, а габариты техники уменьшаются, что влечет за собой увеличение интереса к пленочным источникам тока и с каждым годом создаются все более совершенные аккумуляторы. Наиболее перспективными считаются литиевые системы источника тока (Li-Ion и Li-Pol), которые обладают высокими удельными энергетическими характеристиками, в связи с чем, они вызывают большой интерес. Замена жидкого органического электролита в литий-ионных аккумуляторах на полимерный, исключает утечки электролита и повышает безопасность. В настоящее время в мире все большую популярность приобретают беспилотные летательные аппараты — дроны, которые получают широкое применение в различных сферах человеческой деятельности. Увеличение популярности беспилотных летательных аппаратов привлекает внимание к разработке эффективных технических решений для энергоснабжения дронов. В ходе исследования был разработан и создан литий-полимерный источник тока на основе системы $LiCoO_2$ для беспилотного летательного аппарата. Электрохимические измерения проводили на многоканальном потенциостате — гальваностате Elins P-20X8. Ячейку подключали по известной трех-электродной схеме, разряд реализовывали в гальваностатических (плотность тока 0,5; 1; 3; 5; 10 мА/см^2). Поляризационные характеристики снимали при скорости изменения тока 0,004 мА/с. Регистрация данных осуществлялась потенциостатом — гальваностатом Elins P-20X8 в автоматическом режиме по заранее записанной в его память программе. Разряд производился токами 1С и 0.2С, где С=172 мАч/г. Токи заряда-разряда рассчитывались, исходя из фактической массы электрода, которая составляла 10–20 мг. Из полученных результатов следует, что наилучшими результатами обладают катоды, изготовленные на основе кобальтата лития фирмы LiCo, которые превосходят по емкости и стабильности катоды, изготовленные на основе кобальтата лития, синтезированного в Наноцентре НИУ «МЭИ». В результате проведенных исследований была разработана аккумуляторная батарея для квадрокоптера на основе системы $LiCoO_2$ в габаритах 20×15×12 см при весе 515 г и емкостью 4280 мА×ч.

Болдин Р.Г., студ.; Чижов А.В. студ.; Рябухин А.В. студ.,
Климова М.А. асп., Нефедкин С.И. д.т.н., проф. (НИУ»МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ БИПОЛЯРНЫХ ПЛАСТИН ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ТВЕРДЫМ ПОЛИМЕРНЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ

Водород-воздушные топливные элементы с твердым полимерным электролитом (PEM FC) с открытым катодом активно выходят на рынок энергоустановок малой мощности, в частности, как источники питания для дронов и робототехнических устройств. Биполярные пластины предназначены для коммутации отдельных топливных элементов в батарее с малыми потерями напряжения. Использование титана в качестве материала биполярных пластин позволяет существенно повысить удельные массовые характеристики топливных элементов PEM FC, что особенно важно для их мобильных приложений. Титан имеет малый удельный вес (4,7 г/см^3), прекрасные механические свойства, высокую коррозионную устойчивость. Однако, титан — это вентильный металл и для снижения контактного поверхностного сопротивления при работе ТЭ при сохранении коррозионной стойкости необходима модификация его поверхности. Тонкие (от 50 мкм) биполярные пластины, как правило, покрывают композитными защитными покрытиями на основе углерода (карбиды), азота (нитриды), оксидов редкоземельных металлов. Основное назначение таких покрытий заключается в предотвращении коррозии, а также нарастания пленки оксида титана при контакте с ГДС катода топливного элемента и как следствие рост электрического сопротивления.

Современные технические требования к биполярным пластинам [1] включают два основных показателя:

— ток коррозии ≤ 1 мкА/см^2 после длительной поляризации в трехэлектродной ячейке при потенциале E= + 0,6 Ag/AgCl в 0.01 ppm растворе HF после контакта с воздухом;

— контактное поверхностное сопротивление 0,02 мОм·см^2 (при стандартном сжатии);

В данной работе изучены защитные покрытия на титане на основе неблагородных покрытий (карбида и нитрида титана, ниобий-титана), оксидов редкоземельных металлов. Кроме того, исследованы многокомпонентные покрытия с малым содержанием, полученные магнетронным распылением на установке Краудион-М-11/1 из смешанных мишеней на основе титана, графита с вставками платины.

Литература

1. U.S. Department of Energy Hydrogen and Fuel Cells Program, «Record 14014: Fuel Cell System Cost — 2014

Ю.О. Кудряшова, студ.; рук. Т.Л. Кулова, д.х.н. (ИФХЭ РАН, Москва)

КОМПОЗИТ ФОСФОРА С УГЛЕРОДОМ — НОВЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДА НАТРИЙ-ИОННОГО АККУМУЛЯТОРА

Фосфор один из наиболее энергоемких материалов для отрицательного электрода натрий-ионного аккумулятора. Поскольку электронная проводимость фосфора ничтожна, около 10^{-14} См/см, то это вынуждает использовать его в виде композитов с электронопроводящими компонентами, обычно с углеродом. Значение теоретической удельной ёмкости по внедрению натрия составляет 2596 мАч/г.

Для приготовления композита смесь фосфора и сажи в герметичный капсуле из нержавеющей стали выдерживали в трубчатой печи при температуре 600–670 ^{o}C в течении двух часов. Далее печь плавно остывала до комнатной температуры в течении восьми часов. Результаты сканирующей электронной микроскопии показали, что морфология синтезированного композита определяется морфологией исходной сажи и представляет собой агломерированные частицы размером от 1 до 5 мкм. На спектрах электронно-дисперсионного анализа регистрируются четкие пики, соответствующие углероду, фосфору и кислороду.

Электрохимические измерения проводили в герметичных трехэлектродных ячейках. Вспомогательный и электрод сравнения были изготовлены из металлического натрия. Количество активного вещества (P) на электроде составляло 2.5–3 мг/см^2. Сборку электрохимических ячеек проводили в герметичном перчаточном боксе (Spectroscopic Systems LLC, Russia). Содержание воды и кислорода в боксе составляло менее 1 ppm. В качестве электролита использовали 1 M раствор $NaClO_4$ в смеси пропиленкарбоната и этиленкарбоната (1:1). Электрохимическое циклирование при плотности тока 125 мА/г (C/20) показало, на зарядно-разрядных кривых регистрируются две достаточно четкие площадки, соответствующие процессу внедрения-экстракции натрия в фосфор. Разрядная емкость фосфора при этой плотности тока составила 1870 мАч/г. Увеличение плотности тока приводило к уменьшению разрядной емкости и к сглаживанию четких площадок на зарядно-разрядных кривых. Разрядная емкость при плотностях тока 500, 2500, 5000, 10000, 20000, 25000 мА/г составила 1375, 1085, 720, 505, 355 и 190 мАч/г, соответственно. Эффективный коэффициент диффузии натрия в фосфоре составил (7–9) $*10^{-14}$ см^2/с.

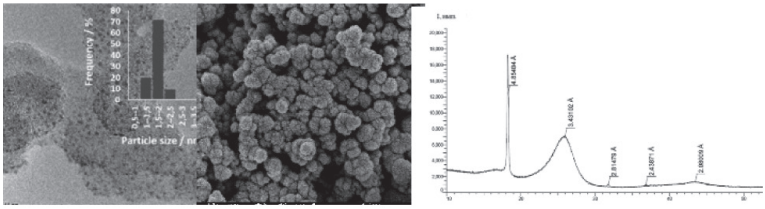
Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №19-03-00236).

Д.Д. Спасов, асп.; рук. С.А. Григорьев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»),
О.К. Алексеева, Н.А. Иванова (НИЦ «Курчатовский институт»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СЛОЕВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА ИХ НАНЕСЕНИЯ НА ГАЗОДИФФУЗИОННЫЙ СЛОЙ

На характеристики топливного элемента с твердополимерным электролитом влияют состав и структура каталитических слоев, которые, в свою очередь, зависят от метода синтеза конкретного электрокатализатора и способа изготовления электрода на его основе. В работе исследовались структура и ее влияние на свойства Pt-электродов с загрузкой платины 400 мкг/см^2, нанесенной на газодиффузионный слой (ГДС). Примеры микрофотографий каталитического слоя, полученные с использованием просвечивающего электронного микроскопа, и дифрактограммы образца представлены на рис. 1.

Во всех случаях использовалась углеродная ткань марки ELAT LT 1400 W. Pt-электроды были изготовлены методами магнетронного распыления (Pt/ELAT_MR); импрегнации H_2PtCl_6 в структуру микропористого слоя ELAT с последующим восстановлением платины водородом (Pt/ELAT_H_2), этиленгликолем (Pt/ELAT_EG) или борогидридом натрия (Pt/ELAT_BG); распыления каталитических платиновой черни (Pt/ELAT_0) и катализатора Pt^{40}/C^{10} (C — Vulcan XC-72 с 10 масс.% фторопласта; Pt^{40}/ELAT_C^{10}) на ГДС с помощью аэрографа. Показано, что магнетронное распыление обеспечивает создание нанокристаллической Pt-пленки с повышенными характеристиками.



А Б В

А — шкала бар 10 нм; Б — СЭМ шкала бар 500 нм.
В –дифрактограмма образца. Электрод Pt/ELAT_MR.

Рис. 1. Микрофотографии

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ грант 18-29-23030, а также в рамках выполнения научно-исследовательских работ в НИЦ «Курчатовский институт» (приказ №1808, подтема 6).

И.И. Гаганов, студент; рук. С.Е. Смирнов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЛИТИЙ-ПОЛИМЕРНОГО АККУМУЛЯТОРА ДЛЯ РАДИОУПРАВЛЯЕМОЙ МОДЕЛИ.

Существующие в настоящее время источники тока потребляют дорогие и остродефицитные цветные металлы, запасы которых ограничены. Кроме того, развитие принципиально новых направлений медицины, микроэлектроники, радиотехники, энергетики требует разработки источников тока с более высокими удельными электрическими характеристиками. В связи с этим внимание исследователей привлекают химические источники тока с использованием лития в качестве анодного материала. Несколько обособленным классом среди разного типа литиевых ХИТ с апротонным электролитом стоят системы с водным электролитом. Доказанные не так давно возможности создания ХИТ с литиевым анодом и водным электролитом позволяют надеяться на создание ряда более высоких по уровню мощности ХИТ при обеспечении удельной энергии существенно выше, чем у имеющихся сегодня, способных генерировать энергию в интенсивных режимах разряда. Время работы таких ХИТ от долей до нескольких десятков часов. В сочетании с возможностями ХИТ с апротонным электролитом разряжаться несколько часов литиевые ХИТ в целом могут «закрыть» практически весь диапазон продолжительностей разряда, обеспечиваемый сегодняшними ХИТ, но с получением более высоких энергетических характеристик.

В экспериментальной части изучены закономерности влияния модификации углеродного материала отрицательного электрода: использовали кокс изотропный и кокс пековый, которые были изготовлены в НИИ «Графит». Как следует из полученных результатов, использование кокса изотропного дает возможность получить большую разрядную емкость. Исследовано также влияние способа термобработки кокса на разрядную и поляризационную характеристики электрода.

В результате исследования была разработана и создана аккумуляторная батарея для радиоуправляемой модели. Электрохимические измерения проводили на многоканальном потенциостате — гальваностате Elins P-20X8. Регистрация данных осуществлялась в автоматическом режиме по заранее записанной в его память программе. Ячейку подключали по известной трех-электродной схеме, разряд реализовывали в гальваностатических (плотность тока 0,5; 1; 3; 5; 10 мА/см^2) и импульсном (55 минут плотность тока 0,5 мА/см^2, 5 минут плотность тока 5 мА/см^2) режимах. Поляризационные характеристики электродов снимали при скорости изменения тока 0,004 мА/с. Разрядно- зарядные характеристики исследовались при величине тока 1С и 0.2 С, из расчета С=163 мАч/г. Аккумуляторная батарея имеет следующие характеристики: ёмкость 4 А*ч, напряжение 7,5 В, энергия 30 Вт*ч, масса 225 г, габариты 100 × 60 × 5 мм.

А.А. Зацепин, П.Д. Иванов, студенты;
рук. И.А. Пуцылов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ СТРУКТУРНЫМИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДА ЛИТИЕВОГО АККУМУЛЯТОРА

При современном стремительном развитии портативной электроники, военной, медицинской и космической техники ведутся разработки новых поколений высокоэффективных химических источников тока (ХИТ), которые обладают высокими энергетическими параметрами и ресурсом. В наши дни широкое распространение получили источники тока системы Li-$LiCoO_2$. Основными преимуществами этих ХИТ являются надежность, безопасность, хорошая сохранность при высоких температурах и, безусловно, высокая удельная энергия. В настоящей работе предлагается исследовать влияние размера частиц кобальтата лития ($LiCoO_2$), используемого в качестве активного вещества положительного электрода, и толщины электрода на энергетические характеристики аккумулятора.

В процессе изготовления электродов варьировали толщину электродов и размер фазы активного вещества. В результате испытаний тонкопленочных положительных электродов, содержащих в качестве активного вещества кобальтат лития различной дисперсности было обнаружено преимущество электрода с более дисперсной фазой активного вещества по значениям удельной емкости, среднеразрядного и среднезарядного потенциалов. Более дисперсный электрод имеет преимущество на протяжении всего процесса циклирования, также менее дисперсный электрод в процессе циклирования теряет емкость быстрее. Известно, что увеличение толщины электрода ухудшает его транспортные характеристики и при определенных режимах часть электрода вообще может быть недоступна для электрохимического процесса. Установлено, что с увеличением дисперсности электрода темп снижения его емкости при увеличении толщины возрастает. Полученный результаты можно объяснить тем, что с повышением дисперсности электрода возрастают требования по обеспечению в его структуре качественного ионно-электронного транспорта, поэтому с ростом толщины более дисперсные электроды сталкиваются с транспортными ограничениям гораздо раньше, чем состоящие из частиц большего размера. Было выявлено, что снижения темпа падения емкости при увеличении толщины высокодисперсных электродов возможно при включении в технологию их изготовления стадии пластического деформирования.

М.А. Бешкарев, А.К. Щербинина, студенты,
рук. И.А. Пуцылов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИТИЙ-ПОЛИМЕРНОГО АККУМУЛЯТОРА ДЛЯ СКЛАДСКОЙ ТЕХНИКИ

Литиевые источники тока с каждым годом получают все большее распространение в самых разных областях экономики. Одна из отраслей, в которой модернизация и внедрение новых видов литиевых аккумуляторов уместны — логистика складирования. В частности, замена наиболее распространенных свинцовых батарей в погрузочной технике на более современные и экономически выгодные литиевые аккумуляторы способна увеличить экономическую эффективность на разных участках логистической цепи. В наши дни широкое распространение получили ХИТ на основе электрохимической системы Li-$LiFePO_4$. Такие источники тока в сравнении с свинцово-кислотными аккумуляторами имеют больший диапазон рабочих температур и меньшую массу, а также более безопасны. В свою очередь, литий-полимерные аккумуляторы при меньшей энергоемкости, чем у литий-ионных, более безопасны и компактны. В настоящей работе предлагается повысить удельную энергию Li-$LiFePO_4$ элементов за счет оптимизации природы и содержания токопроводящей добавки.

В данной работе положительный электрод представляет собой смесь $LiFePO_4$ с электропроводной добавкой и связующим ТПЭ в нанодисперсном состоянии. В итоге в готовом электроде полностью отсутствует жидкая фаза.

Макетирование литиевых ХИТ проводили в трехэлектродной полипропиленовой ячейке. Для моделирования процесса разряда использовали многоканальный потенциостат-гальваностат Elins P-20X8. Разряд проводили в гальваностатическом режиме с плотностями тока до 0,5 мА/см^2. Установлено, что вид электропроводящей добавки оказывает значительное влияние на электрохимические характеристики катода: максимальная удельная емкость и наибольший потенциал разряда были получены при применении пенографита. Процентное содержание токопроводящей добавки также сильно сказывалось на вышеперечисленных характеристиках: наилучшие результаты были достигнуты при доле электропроводящей добавки в 8%. Уменьшение доли токопроводящей добавки приводит к снижению емкости в следствие ухудшения транспорта электронов, а ее увеличение — к снижению удельной емкости по причине уменьшения доли литий-железо-фосфата и ухудшения гомогенности активной массы.

Негородов М.В., аспирант, Сергейцев Н.А., студент,
рук. И.А. Пуцылов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕЛЬПОЛИМЕРНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА ДЛЯ МИНИАТЮРНЫХ ЛИТИЙ-ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Литиевые химические источники тока прочно занимают лидирующие позиции в области энергообеспечения малогабаритных автономных потребителей к которым относится имплантируемая медицинская техника, сотовые телефоны, ноутбуки, портативное метрологическое оборудование и т.п. Одной из центральных проблем современных литиевых источников тока является проблема электролита. Жидкие апротонные проводники, используемые сегодня не позволяют создавать компактные, безопасные и высокоэнергоемкие источники тока, обладающие сравнительны невысокой стоимостью.

Настоящая работа посвящена разработке гельполимерного электролита (ГПЭ) для использования в элементах для медицинских имплантируемых устройств. В качестве полимерной основы ГПЭ использовали сополимер полисульфона и полисульфидсульфона на основе перфтордифенилолпропана. Пластифицирование пленок полимера толщиной 10мкм проводили раствором пластификатора в качестве которого применяли раствор перхлората лития в смеси растворителей тетрагидрофурана (ТГФ) и пропиленкарбоната (ПК). В процессе изготовления ГПЭ варьировали соотношение компонентов пластификатора и длительность пропитки полимерных пленок. Изучение характеристик литиевого электрода, находящегося в контакте с разработанным электролитом реализовывали в трехэлектродной ячейке на потенциостате Elins P-20X8. Состав поверхности лития исследовали методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии на приборе XSAM- 800.

Установлено, что длительность пропитки пленок сополимера раствором пластификатора должна составлять 15 часов, соотношение компонентов пластификатора определяется приведенной вязкостью сополимера: чем выше вязкость полимера, тем больше доля ТГФ необходима в пластификаторе. Электропроводность разработанного электролита составила 0,025 См/см, что превышает аналогичный параметр промышленных образцов. В свою очередь структурные исследования поверхности литиевого электрода до и после работы в контакте с предложенным электролитом не обнаружили следов взаимодействия лития с пластификатором. То есть при использовании предложенного сополимера в качестве полимерной матрицы ГПЭ образуется внутрифазный гель.

А.В. Бездудный, асп.; рук. Д.В. Блинов, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», ОИВТ РАН, Москва)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОРОДПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ СПЛАВА ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ $LaNi_{4.4}Fe_{0.3}Al_{0.3}$ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И ОЧИСТКИ ВОДОРОДА

Водород играет важную роль в качестве экологически чистого, высокоэффективного и перспективного энергоносителя для энергетики, автотранспорта и мобильных применений [1]. Решение задач безопасного хранения и эффективной очистки водорода связано с выбором оптимального и экономичного метода хранения и очистки.

Интерметаллические сплавы (ИМС) позволяют обратимо поглощать водород и безопасно хранить его в твердой фазе. Способность ИМС к избирательному поглощению водорода делает их источниками газа высокой чистоты и позволяет использовать также для очистки водорода [2].

Разработка и исследование новых ИМС способных эффективно очищать водород от газообразных примесей является одной из важнейших задач при разработке производительных металлогидридных устройств.

В работе представлены экспериментальные исследования водородпоглощающих свойств ИМС $LaNi_{4.4}Fe_{0.3}Al_{0.3}$, получены диаграммы давление — концентрация — температура (P-C-T), данные рентгенофазового состава, распределение размеров частиц и площадь поверхности пористого образца сплава.

В работе также представлены экспериментальные исследования тепловых процессов, происходящих при абсорбции/десорбции водорода в металлогидридном реакторе очистки водорода проточного действия РХО-8.

Литература

1. **Jain I.P.** Hydrogen the fuel for 21st century // International Journal of Hydrogen Energy. 2009. Volume 34. Issue 17. Page 7368–7378.
2. **Тарасов Б.П., Лотоцкий М.В., Яртысь В.А.** Проблема хранения водорода и перспективы использования гидридов для аккумулирования водорода // Российский Химический Журнал. 2006. Т. L. №6. С. 34.
3. **Dunikov D., Borzenko V., Blinov D., Kazakov A., Lin C.-Y., Wu S.-Y., Chu C.-Y.** Biohydrogen purification using metal hydride technologies // International Journal of Hydrogen Energy. 2016. Volume 41. Issue 46. Page 21787–21794.
4. **Blinov D.V., Borzenko V.I., Dunikov D.O., Romanov I.A.** Experimental investigations and a simple balance model of a metal hydride reactor // International Journal of Hydrogen Energy. 2014. Volume 39. Issue 33. Page 19361–19368.

А.В. Бездудный, асп.; рук. Д.В. Блинов, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», ОИВТ РАН, Москва)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В МЕТАЛЛОГИДРИДНОМ РЕАКТОРЕ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА БЕЗ ВНЕШНЕГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Актуальность проблемы создания эффективных систем обратимого твердофазного хранения водорода определяется ростом потребления высокочистого водорода в различных высокотехнологичных производствах и широким распространением энергоустановок на базе топливных элементов (ТЭ) [1]. Перспективными материалами для комплексного решения проблем аккумулирования, очистки и повышения давления водорода могут быть сплавы низкотемпературных интерметаллических соединений (ИМС) семейства $LaNi_5$ [1, 2].

Основным техническим барьером технологии является низкая теплопроводность активированных металлогидридных засыпок, что при существенных значениях теплоты реакции гидрирования приводит к появлению режимов, характеризующихся кризисом массообмена [2].

В случае относительно небольших расходов в реакторах хранения (РХ) водорода возможен отказ от внешнего вынужденного теплообмена и использование давления в качестве основной термодинамической движущей силы процесса сорбции.

В работе представлены результаты создания металлогидридного РХ водорода «РХА-1», работающего без внешнего теплоносителя. Представлены экспериментальные исследования водородпоглощающих свойств ИМС: $La_{0.9}Ce_{0.1}Ni_5$, $La_{0.85}Ce_{0.15}Ni_5$, $La_{0.7}Ce_{0.3}Ni_5$. Получены диаграммы давление — концентрация — температура (P-C-T), данные рентгенофазового состава. Выполнены экспериментальные исследования тепловых процессов, происходящих при абсорбции/десорбции водорода в реакторе РХА-1.

Литература

1. **Barreto L, Makihira A, Riahi K** The hydrogen economy in the 21st century: a sustainable development scenario // International Journal of Hydrogen Energy. 2003. Volume 28. Issue 3. Pages 267–284.
2. **Тарасов Б.П., Лотоцкий М.В., Яртысь В.А.** Проблема хранения водорода и перспективы использования гидридов для аккумулирования водорода // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). 2006. т. L. №6. с. 34–48.
3. **Borzenko V.I., Dunikov D.O., Malyshenko S.P.** Crisis phenomena in metal hydride hydrogen storage facilities // High Temperature. 2011. Т. 49. №2. с. 249–256.

М.В. Козлова, студ.; М.А. Соловьев, асп.; рук-ли Т.Л. Кулова, д.х.н.; С.А. Григорьев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»); И.В. Пушкарева; А.С. Пушкарев, к.т.н.; Д.А. Симкин; О.К. Алексеева, к.т.н. (НИЦ «Курчатовский институт»);

МОДИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ НОСИТЕЛЕЙ КАТАЛИЗАТОРОВ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННО-ИОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

По сравнению с традиционными энергоносителями водород имеет ряд преимуществ, например, возможность его получения за счет возобновляемых источников энергии. Однако, основным преимуществом использования водорода является низкий уровень выбросов парниковых газов при выработке электроэнергии, что особенно важно в перспективе его широкого применения в качестве топлива для транспорта [1].

На сегодняшний момент наиболее перспективными являются топливные элементы с твердым полимерным электролитом (ТПЭ), что объясняется целым рядом их достоинств, таких как низкая рабочая температура, низкий уровень шума, возможность быстрого запуска, а также высокая удельная мощность, эффективность и экологичность. Как правило, в топливных элементах с ТПЭ используются электрокатализаторы на основе наночастиц платины, нанесенных на поверхность углеродного носителя (обычно — сажи).

В настоящее время графеноподобные материалы вызывают большой интерес в качестве альтернативного углеродного носителя в силу таких его свойств, как высокая электро- и теплопроводность, механическая прочность, а также химическая и электрохимическая стабильность. Графеноподобные материалы обладают обширным потенциалом модификации своей поверхности и управления своими свойствами.

В представленной работе рассмотрена возможность допирования поверхности углеродных наноматериалов методом магнетронно-ионного распыления и использования полученных материалов в качестве носителей электрокатализаторов на основе Pt.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект №18-53-53025).

Литература.

1. **Jain I.P.** Hydrogen the fuel for 21st century // Int.J. Hydrogen energy. 2009, no. 17, vol. 34.

В.Ю. Бодиков, студ.;рук. Д.О. Дуников, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОРОДОПОГЛОЩАЮЩИХ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВОВ ТИПОВ AB_5 И AB_2

На протяжении последних десятилетий ведутся активные исследования многокомпонентных металлогидридных материалов для практического применения в стационарном и портативном хранении водорода, термосорционных компрессорах, хранении тепловой энергии и никель-металлогидридных аккумуляторах [1].

Интерметаллические соединения (ИМС) для анодных материалов можно представить общей формулой $A_mB_nH_x$, где A — металл, образующий стабильный бинарный гидрид (La, Ce, Mm, Ti, Zr, V, Mg), а металл B в обычных условиях с водородом не взаимодействует (Ni, Co, Fe, Mn, Cr, Al и другие) [2]. Наиболее распространёнными анодными материалами являются AB_5 и AB_2типы. Целью исследований является поиск оптимального состава сплава, обеспечивающего повышенную водородсорбционную емкость, коэффициент диффузии водорода, сочетающиеся с антикоррозионной стойкостью, высокойкаталитическая активность поверхности иравновесным давлением водорода до 0.1 МПа.

Интерметаллиды AB_5 типа отличаются высокой каталитической активностью, легкостью активации и циклической стабильностью, но рабочая электрохимическая емкость ограничена. ИМС AB_2 обладают более высокими емкостными характеристиками, но также этим сплавам присущи трудности при активации и низкая циклическая стабильность.

В работе были исследованы ИМС AB_5 ($La_{0.8}Ce_{0.2}Ni_4Co_{0.5}Mn_{0.3}Al_{0.2}$) и AB_2 ($Ti_{0.2}Zr_{0.8}NiMn_{0.7}V_{0.2}Fe_{0.1}$), приготовленные аргоновой дуговой плавкой и отожжённые при T=1223 K. Определены параметры кристаллической структуры, исследованы водородпоглощающие и электрохимические свойства.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (Проект №17-79-20413).

Литература

1. **Борзенко В.И. и др.** Анодные материалы для металлогидридных топливных элементов. в материалах»Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность» 2018. Москва: Объединенный институт высоких температур Российской академии наук.
2. **Тарасов Б.П. и др.** Методы хранения водорода и возможности использования металлогидридов. Альтернативная энергетика и экология, 2005. 12: p. 14–37.

А.В. Пивченко, асп., рук. Н.Д. Рогалев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СПОСОБ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В ГЕНЕРАТОРЕ ВОДОРОДА

В ВФ МЭИ продолжается разработка генератора водорода на основе гидролиза алюминия [1]. Созданы математические модели на основе представлений идеального смешивания и идеального вытеснения, реализованные в приложении «Matchad». В их основе — ряд постулатов, в том числе — принцип независимости движения твердой и газообразной фаз. Однако есть основания полагать, что газообразная фаза может увлекать за собой твердые частицы в направлении свободной поверхности и оси вихря, приводя к перераспределению концентраций, отличному от концентраций, получаемых в «идеальных» моделях. Для изучения этого влияния предложен способ моделирования процессов в химических реакторах путем контактирования твердой и жидкой фаз и определения параметров массобмена между ними путем использования веществ — имитаторов, отличающийся тем, что твердую фазу — частицы алюминия — моделируют частицами питьевой соды, жидкую фазу — водный раствор едкого натра — моделируют водным раствором уксусной кислоты, а полученный газообразный продукт гидролиза — водород — моделируют углекислым газом [2]. Преимуществом данного способа является безопасность. Для его реализации создан экспериментальный стенд (Рисунок 1).

Рис. 1. Стенд

Литература

1. **Пивченко А.В., Рогалев Н.Д.** Моделирование процессов в генераторе водорода // Радиоэлектроника, электроэнергетика и энергетика: Тр. 25-й Международной научно-практической конференции студентов и аспирантов. М.: МЭИ, 2019.
1. **Султанов М. М, Курьянов В.Н., Терентьев Г.Ф., Гусева Ю.В., Николаев А.И., Пивченко А.В., Курьянова Е.В.** Способ моделирования процессов в химических реакторах. Патент на изобретение RUS 2682612 15.02.2018

Е.В. Курьянова, асп.; рук-ли В.Д. Буров, к.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»);
М.М. Султанов, к.т.н., доцент (филиал НИУ «МЭИ» в г. Волжском)

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ТЕПЛОВОЙ ПАРОТУРБИННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ПАРОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ ВОДОРОДНО-КИСЛОРОДНОЙ УСТАНОВКОЙ

Одним из актуальных вопросов в энергетике является использование более эффективных технологий производства энергии. Одним из таких направлений является создание водородных минипарогенераторов малой мощности (до 200 кВт) и внедрение их в тепловые схемы электростанции. Выбор водорода как энергоносителя обусловлен, прежде всего, экологической безопасностью, высокой теплотой сгорания и неограниченных его запасов [1].

Разработана схема тепловой паротурбинной электростанции, которая содержит парогенерирующую водородно-кислородную установку, в которую подается вода, водород от водородной установки гидролиза твердого реагента — алюминия в реакционном сосуде и кислород от кислородной установки. В результате чего вырабатывается пар, который подается в турбину и далее схема работает по принципу обычной тепловой электростанции. В схеме предусмотрена электролизёрная установка, которая используется в качестве резервной установки для получения водорода и кислорода. В качестве аварийной системы энергоснабжения и для обеспечения собственных нужд станции используют электрохимическую установку на топливных элементах. Причем все элементы схемы подсоединены ко входу парогенерирующей водородно-кислородной установки.

Предлагаемый вариант тепловой схемы позволит определить подход к оценке топливной составляющей себестоимости производства тепловой и электрической энергии для отечественных ТЭС.

Одним из преимуществ рассматриваемой схемы является то, что водород и кислород образуется в отдельной водородной установке непрерывного действия гидролиза твердого реагента — алюминия в реакционном сосуде и кислородной установке, а не подводится из станционных хранилищ, которые являются пожаровзрывоопасными объектами.

Литература

1. **Б.Н. Кузык, Ю.В. Яковец.** Россия: стратегия перехода к водородной энергетике.-М.: Институт экономических стратегий, 2007. — 400 с.

Секция 38.
ЭКОНОМИКА ЭНЕРГЕТИКИ

Председатель секции — Курдюкова Галина Николаевна
Секретарь секции — Амелина Анна Юрьевна

А.С. Доронин, студ.;
рук. К.В. Трубицын, к.э.н., доцент (СамГТУ, Самара)

О НОВОМ КРИТЕРИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТАРИФОВ НА ПЕРЕДАЧУ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Одной из важнейших проблем на современном этапе развития теплоэнергетики России является отсутствие конкуренции между производителями тепловой энергии. Для изменения ситуации в стране требуется изменение модели рынка. В первую очередь, это изменение должно быть связано с изменением принципов ценообразования (совершенствование системы тарифного регулирования тепловой энергии).

Тарифы на тепловую энергию находятся под строгим контролем со стороны государства. Согласно действующему законодательству существует несколько методов регулирования тарифов в сфере теплоснабжения: метод экономически обоснованных расходов, метод индексации установленных тарифов, метод сравнения аналогов, метод обеспечения доходности инвестированного капитала [1].

В случае с теплосетевыми организациями методы экономически обоснованных расходов и индексации «поощряют» самых неэффективных участников энергетического рынка путем выдачи максимальной выручки тому субъекту, у которого самые большие затраты. То есть теплосетевой организации для дальнейшего роста тарифа нужно поддерживать низкий уровень надежности основных средств и высокий уровень затрат. Таким образом, высокие тарифы приводят не к улучшениям, а к консервации условий для сохранения больших издержек.

Анализируя организации, осуществляющие регулируемый вид деятельности по передаче тепловой энергии, предлагается внести в действующую методику расчета тарифа на услуги по передаче тепловой энергии методом аналогов следующий критерий — осуществлять государственное регулирование цен (тарифов) органами регулирования только в том случае, если организация, осуществляющая регулируемый вид деятельности по передаче тепловой энергии, имеет протяженность тепловых сетей в 2-трубном исчислении не менее 5 км.

Это приведёт к снижению тарифной нагрузки как на теплогенерирующие организации, так и на конечных потребителей тепловой энергии и теплоносителя.

Список литературы

1. **Доронин А.С.** Проблемы и перспективы развития рынка теплоснабжения в России / К.В. Трубицын, А.С. Лавров, А.С. Доронин // Экономика и предпринимательство. №3 (92) 2018. — С. 209–214.

М.В. Кахальников, студ.; рук. Е.В. Сухарева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР МЕТОДА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАТРАТ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СЕБЕСТОИМОСТИ ЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ ООО «ТВЕРСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ»

В наше время население страны использует в основном энергию двух видов: электрическую и тепловую. Выработка обоих видов энергии в едином технологическом процессе считается экономически целесообразнее, нежели раздельное производство, и это осуществляется на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ). Усиливается необходимость в решении вопросов по калькулированию производственных затрат, так как себестоимость служит основой для ценообразования. От правильного планирования и использования обоснованных методов распределения затрат зависит на сколько конкурентоспособна будет ТЭЦ на рынке электрической и тепловой энергии. Таким образом, от методов формирования себестоимости зависит, насколько экономически эффективно будет функционировать электростанция.

ТЭЦ вправе самостоятельно выбирать наиболее эффективный метод. Так как в настоящее время тариф на тепловую энергию устанавливается государством, то ТЭЦ стараются максимально повысить себестоимость тепловой энергии и максимально снизить себестоимость электроэнергии, чтобы продать больший объем своей электрической энергии на рынке на сутки вперед [1].

Цель работы заключается в разработке рекомендаций по применению методов распределения затрат при формировании себестоимости энергии на ТЭЦ в различных условиях хозяйствования.

В работе проанализированы рынки тепловой и электроэнергии, выявлены причины и следствия снижения эффективности хозяйственной деятельности ТЭЦ. Проведено исследование влияния методов распределения затрат на конкурентное положение ТЭЦ на рынках тепла и электроэнергии, выявлены достоинства и недостатки каждого метода. Проведено исследование влияния методов распределения затрат при формировании себестоимости тепловой и электрической энергии на примере ТЭЦ-3 ООО «Тверская генерация».

В результате работы разработаны рекомендации по выбору метода распределения затрат при формировании себестоимости энергии в рыночных условиях, которые могут быть использованы широким комплексом энергетических предприятий, вырабатывающим в едином технологическом цикле электрическую и тепловую энергию.

Литература

1. **Сухарева Е.В.** Методы распределения затрат при формировании себестоимости энергии на ТЭЦ. Транспортное дело России, 2015 №2, с. 43–45.

С.И. Полубояринов, студ.; рук. Д.Г. Шувалова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ И ЦЕНОВОЙ АУДИТ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАЗРАБОТКИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОГРАММ СУБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Исследование посвящено вопросам изучения процессной модели электросетевой компании в части совершенствования форм проведения технологического и ценового аудита (далее ТЦА) инвестиционных программ, выявлению причинно-логических связей для формирования инвестиционного потенциала и инвестиционного потока энергокомпании.

В исследовании решена задача учета ТЦА как фактора, влияющего на объем инвестируемого капитала в рамках инвестиционных программ электросетевых организаций. Результатом решения данной задачи является разработанная факторная модель, учитывающая взаимосвязи отдельных проверок, проводимых в рамках ТЦА.

По результатам исследования ТЦА как влияющего фактора сделаны выводы о том, что он является инструментом по сдерживанию роста объемов инвестируемого капитала, и в свою очередь роста тарифов.

В рамках исследования разработана методика выполнения п. 16 м) Методических рекомендаций [1]. В рамках данного пункта производится проверка финансовых потребностей на реализацию инвестиционных проектов по технологическому присоединению потребителей, посчитанных на основе укрупнённых нормативов цен [2]. Однако объем таких инвестиционных проектов настолько велик, что не позволяет произвести проверку каждого проекта. В целях минимизации трудозатрат на выполнение данной проверки разработан алгоритм аудита стоимости инвестиционных проектов. Выявление фактов потенциального завышения финансовых затрат возможно обнаружить с помощью проведения регрессионного анализа. Регрессионная модель представляется в виде:

$$\ln(\boldsymbol{S}) = A * \ln(km) + B * \ln(MVA) + C,$$

где A, B, C — коэффициенты регрессии; S — оценка стоимости, млн. руб.; km — протяженность ЛЭП, км; MVA — трансформаторная мощность, МВА.

Результатом использования разработанной методики является снижение объема финансовых потребностей, что в свою очередь приводит к сдерживанию роста тарифов на электроэнергию и, позволит улучшить конкурентоспособность российской экономики в целом.

Литература

1. Распоряжения Правительства РФ от 23.09.2016 N 2002-р.
2. Приказ Минэнерго России от 17.01.2019 N 10.

А.Ю. Маркелова, студ.; рук.: А.А. Гибадуллин, к.э.н., асс. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО РАЗВИТИЮ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА ОАО «РЖД»

На протяжении последних лет острой проблемой в электроэнергетической отрасли России является высокий износ основных производственных средств, прежде всего, объектов генерации и сетевого хозяйства. Это, в свою очередь, влияет на экономический рост страны, так как без опережающего развития электросетевого комплекса и всей энергетики в целом невозможно и развитие других отраслей.

С целью решения данной проблемы, а также повышения эффективности деятельности компании электроэнергетической отрасли формируют инвестиционные программы, источниками финансирования которых являются собственные финансовые средства, привлеченные средства, бюджетное финансирование, заемные средства и долевое участие в строительстве за счет прочих источников [1].

Особые трудности в формировании инвестиционных фондов для последующего финансирования развития электросетевого хозяйства испытывает ОАО «РЖД», одновременно осуществляя два монопольных вида деятельности — железнодорожные перевозки и передачу электрической энергии, которые в Российской Федерации подлежат жесткому государственному регулированию. Совмещая виды экономической деятельности, ОАО «РЖД», как электросетевая компания, испытывает трудности при ведении раздельного учета доходов и расходов, что необходимо в целях обоснования фактически понесенных расходов при устанавлении тарифов на услуги по передаче электрической энергии регулирующими органами, в связи с чем компания теряет прибыль.

Кроме того, в нормативно-правовых актах, регулирующих осуществление железнодорожных перевозок и услуг по передаче электрической энергии, существуют противоречия, которые влияют на формирование тарифов на услуги по передаче электрической энергии, а, впоследствии, и на разработку инвестиционной программы в целях развития электросетевого комплекса ОАО «РЖД».

На основе проведенного исследования были проанализированы причины отставания в развитии электросетевого комплекса ОАО «РЖД» наряду с другими электросетевыми компаниями и разработаны практически применимые рекомендации по формированию инвестиционной программы в целях устойчивого развития и повышения эффективности компании в электроэнергетической отрасли.

Литература

1. **Подсорин В.А.** Экономическая оценка инвестиций: учебное пособие. М.: МИИТ, 2011.

В.О. Киндра, студ.; рук. Е.М. Лисин, д.т.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕСТА СТРОИТЕЛЬСТВА КИСЛОРОДНО-ТОПЛИВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Согласно прогнозным данным Международного энергетического агентства уровень мирового потребления энергии к 2040 г. увеличится на 30% относительно 2016 г. Количество ежегодно сжигаемых углеводородов также возрастет, приводя к увеличению выбросов токсичных веществ и парниковых газов в атмосферу. Перспектива усиления антропогенного воздействия на природу обостряет проблему обеспечения устойчивого развития отдельных государств и всего мира в двадцать первом веке.

Снизить загрязнение атмосферы энергетическим сектором можно за счет перехода на кислородно-топливные энергетические комплексы [1]. Сжигание органического топлива в кислороде высокой чистоты обеспечивает практически полное отсутствие выбросов вредных веществ. При этом удаляемый из цикла излишек диоксида углерода направляется на захоронение.

Для широкомасштабного внедрения перспективной технологии необходимо повысить ее инвестиционную привлекательность. Возможный путь обеспечения эффективности капитальных вложений и снижения эксплуатационных расходов — выбор экономически обоснованного места строительства энергетического комплекса.

При решении указанной задачи необходимо учитывать ряд дополнительных факторов, характерных лишь для генерирующих установок с улавливанием и захоронением углекислого газа. В частности, в отличие от традиционных ТЭС на выбор места строительства кислородно-топливных энергетических комплексов также влияет тип и место расположения хранилища диоксида углерода, способ его транспортировки и возможность извлечения дохода в результате вытеснения нефти закачкой сжиженного газа.

С целью формирования схемы размещения генерирующих объектов нового типа авторами разработана многофакторная модель, учитывающая технические и экономические особенности технологии производства электроэнергии с нулевыми выбросами вредных веществ.

Исследование проведено в НИУ «МЭИ» за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-20371 от 28 июля 2017 г.).

Литература

1. **Киндра В.О., Рогалев А.Н., Рогалев Н.Д.** Кислородотопливные технологии производства электроэнергии с нулевыми выбросами вредных веществ в атмосферу // М.: Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2017, с. 110–113.

А.И. Грачева, студ.; рук. Д.Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МУЛЬТИПЛИКАТИВНАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСЛЯЦИИ ЦЕН ЕСТЕСТВЕННЫХ МОНОПОЛИЙ

При регулировании цен и тарифов на продукцию естественных монополий важно оценивать взаимное перекрестное влияние отраслей друг на друга, поскольку координация деятельности в подобных случаях возможна только при участии государственных органов контроля и надзора. Расчет и оценка мультипликаторов позволяет не только оценить взаимозависимость цен, но и спрогнозировать динамику изменения всей тарифной программы при росте только одной статьи себестоимости.

Очевидно, что взаимовлияние не носит линейный характер и воздействие на цены может возникать до трёх раз при прохождении полного финансового цикла, например, при осуществлении горячего водоснабжения цены на электроэнергию трижды возникают в цепочке создания стоимости. Вопрос расчета и оценки мультипликаторов для деятельности по энерго- и водоснабжению в Раменском районе является актуальным для региона.

При формировании тарифа на себестоимость влияют многие факторы, одним из которых является цена единицы электро- теплоэнергии, цена на передачу энергоресурса, сбытовые надбавки и так далее [1].

Рассмотрев и объяснив, в какой степени теплосети, электросети и водоканал влияют друг на друга можно оценить величину этого влияния. Эта идея нашла свое отражение в мультипликационной модели.

Сущность данной модели заключена в моделировании себестоимости неформально интегрированной вертикальной цепочки создания стоимости естественных монополий с применением факторного Анализ мультипликаторов дает ответы на вопросы перекрестного влияния отраслей естественных монополий.

Согласно данным за 2017 год по Раменскому району на производство 1 292 734,60 Гкал тепла в I и во II полугодии потребили 43 550,0 тыс. кВт*ч в каждом. Величина мультипликатора составляет 11,92. Аналогичные расчеты проводятся по всей цепочке создания стоимости.

Увеличение затрат на теплоэнергию связано и с увеличением тарифа на электроэнергию, поставляемую предприятию, соответственно, произошло увеличение тарифа на производимый энергоресурс для конечных потребителей. Аналогичная картина наблюдается и в случае с производством электроэнергии.

Литература

1. Энциклопедия Экономиста. URL: economic-definition.com. (дата обращения 08.01.2019).

М.О. Григорьева, студ.; рук. Ю.Н. Зацаринная, к.т.н., доц. (КГЭУ, г. Казань)

ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ НА РОЗНИЧНЫХ РЫНКАХ КАК ТОВАР В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Важным аспектом энергетической политики любого государства является поиск оптимального соотношения между доступностью электроэнергии как физически, так и экономически. На мировых рынках, в большинстве своем, спрос на электроэнергию имеет низкую чувствительность к цене.

Российский рынок не стал исключением. Розничные цены в России регулируются, но сбытовые компании не стремятся использовать цены в реальном времени и информировать потребителей бытового сектора о возможности сэкономить. Сейчас в условиях ценового регулирования на розничных рынках потребители коммунальных услуг рассчитываются по фиксированной цене, в отличие от коммерческих потребителей с расчетом стоимости электроэнергии согласно одной из шести ценовых категорий. В случае если потребитель осведомлен о ценах реального времени, то цена на розничном рынке будет точно следовать за уровнем нагрузки в это же время [1].

Нами была представлена концепция интеллектуальной системы, которая позволяет вовлекать отдельные домохозяйства в прогрессивный тип потребления и генерации энергии, и создает новый тип энергосистемы и участника рынка — просьюмера. Две системы предлагаются для домашних хозяйств, оснащенных солнечными панелями. В ходе работы нами были проведены расчеты стоимости электрической энергии и мощности для жилого дома, расположенного в г. Казань, оснащенного солнечными панелями. Предположен выбор одной из нескольких ценовых категорий для рассматриваемого объекта: первой, второй, третьей и четвертой. На основе полученных данных были сформированы рекомендации для потребителя электроэнергии.

С учетом вышеизложенного предложено разработать техническое решение для интеграции ВИЭ в энергосистему, позволяющее учитывать сигналы рынка, а также доступное не только крупным промышленным объектам, но и единичным домохозяйствам [2].

Литература

1. **Стивен Софт.** Экономика энергосистем. Введение в проектирование рынков электроэнергии: Пер. с англ.; Под ред. А.И. Лазебника, И.С. Сорокина. Москва: Изд-во Мир, 2006. 6–30 с.
2. **Гречухина И.А., Кудрявцева О.В., Яковлева Е.Ю.** Эффективность развития рынков возобновляемых источников энергии в России // Экономика региона. 2016. Т. 12. №4. С. 1167–1177.

А.С. Аникеева, студ.; рук. Д.А. Фрей, к.э.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГАРАНТИРУЮЩЕГО ПОСТАВЩИКА НА ОПТОВОМ И РОЗНИЧНОМ РЫНКАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ (МОЩНОСТИ)

Актуальность темы дипломной работы обусловлена развитием рынка электроэнергии и мощности, в котором действует такой постоянный субъект как гарантирующий поставщик, который выступает гарантом предоставления электроэнергии и мощности потребителям (покупателям), в том числе в случае отсутствия у потребителя договора энергоснабжения (купли-продажи электроэнергии и мощности) с другой энергоснабжающей компанией [1]. В ходе исследования были выявлены конкурентные преимущества гарантирующего поставщика, среди которых хорошая репутация гарантирующего поставщика, получение полномочий по обслуживанию определенного количества потребителей, находящихся на определенной территории, возможность регистрации одной группы точек поставки по субъекту РФ, льготные требования к системе коммерческого учета на ОРЭ. Были разработаны следующие рекомендации по формированию конкурентных преимуществ гарантирующего поставщика:

1) Установление более приемлемых цен, увеличивая долю покупки с оптового рынка. Тогда плата за электроэнергию для потребителей ГП будет меньше из-за увеличения количества обслуживаемых потребителей.

2) Помощь в планировании потребления электроэнергии для потребителя.

3) Улучшение качества обслуживания потребителей путем упрощения системы заключения договоров по передаче электроэнергии, создания наиболее удобных условий оплаты.

4) Привлечение новых потребителей за счет предоставления им дополнительных услуг, связанных с энергоснабжением, энергоаудитом и энергоконсалтингом.

5) Совершенствование программного обеспечения, осуществляющего расчёт стоимости электроэнергии по рыночным индикаторам, что позволит снизить потери от неправильного учета электроэнергии, эффективно выявлять нарушения в процессах организации работы.

6) Повышение профессионального уровня производственного и инженерно-технического персонала.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 N 442 (ред. от 22.06.2019) «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии».

А.И. Королькова, студ.; рук. Д.Г. Шувалова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГОКОМПАНИИ

Главной задачей, стоящей перед современным менеджментом в энергетике, можно назвать формирование эффективной системы управления энергетическим предприятием и сферами ее деятельности. Производители, конкуренты, инвесторы, как участники рынка, контрагенты и партнеры, уделяют особое внимание вопросам оптимизации бизнес-процессов энергетической компании.

Целью исследования является разработка алгоритма оценки эффективности деятельности энергокомпании с применением процессного подхода, основанного на анализе конкретных бизнес-процессов.

Актуальность данной темы обусловлена продолжающимися реформами в ТЭК РФ, эволюцией инструментов управления в энергокомпаниях, а также опережением теории и практики управления бизнес-процессами в Мире по сравнению с РФ. Технологии, применяемые в менеджменте при управлении бизнес-процессами энергокомпаний, не подразумевают увязку каждой функции бизнес-модели с показателями ФХД, хотя на практике существует большое количество бизнес-моделей энергокомпаний.

Для получения конкурентных преимуществ необходима трансформация бизнес-процессов энергокомпаний, а также разработка алгоритма оценки эффективности деятельности энергокомпании с применением процессного подхода, основанного на анализе конкретных бизнес-процессов.

В работе предложен алгоритм оценки затрат на бизнес-процесс и выбора инструмента оценки потенциала экономии, в который включаются показатели эффективности бизнес-процессов [1], такие как: показатель сложности ($k_{сл}$), процессности ($k_{пр}$), контролируемости ($k_{отв}$), ресурсоемкости ($k_{р}$), регулируемости ($k_{рег}$), также относительные показатели времени, качества и стоимости, при учете отраслевых особенностей. Новый алгоритм может иметь большую практическую значимость для энергокомпаний при решении задач повышения экономичности менеджмента.

По результатам расчётов предполагаемый эффект может быть положительным, если будет выявлен потенциал экономии при неизменных параметрах управляемости компании. Оценка потенциала экономии позволит улучшить организацию менеджмента, снизить административно-хозяйственные издержки, что особенно актуально при тарифном регулировании.

Литература

1. **Ковалев С.М., Ковалев В.М.** Выбор бизнес-процессов для оптимизации. 2005. №7 (234). С. 24.

Е.В. Юркова студ.; рук.: А.Ю. Амелина к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Проблемы доступности электроэнергии на территории Российской Федерации актуальны сейчас как никогда. Качественное и бесперебойное электроснабжение и теплоснабжение необходимо в одинаковой мере как промышленным потребителям, так и населению. Разработка новых перспективных стратегий обеспечения конкурентоспособности становится в наше время все более актуальной [1].

Данное исследование заключается в разработке метода оценки конкурентоспособности генерирующих компаний электроэнергетической отрасли и его апробации на примере энергокомпаний Уральского Федерального Округа (УФО). Также в работе предложены рекомендаций по повышению конкурентоспособности проанализированных энергокомпаний УФО.

Компании были выделены на основании следующих критериев: сопоставимая мощность, вид деятельности, регион, выработка и организационная форма. В результате были выбраны шесть генерирующих энергокомпаний: ПАО «Энел Россия», АО «Интер РАО — Электрогенерация», ПАО «ОГК-2», ПАО «Т Плюс», ПАО «Фортум» и ПАО «Юнипро». При исследовании конкурентоспособности копаний были выбраны семь показателей: электрическая мощность, коэффициент использования установленной мощности, выработка электроэнергии, средний тариф на электрическую энергию, средневзвешенная выручка, средневзвешенная прибыль.

Был проведён анализ конкурентоспособности выбранных компаний методом радара. Затем собранные данные были преобразованы в относительные показатели и на основе их был построен многоугольник конкурентоспособностей по каждой из этих компаний. После этого были вычислены площади многоугольников на основе полученной лепестковой диаграммы по формуле:

$$S_j = 0.5 * \left[A_{1,j} * A_{n,j} * sin\left(\frac{2П}{n}\right) + \sum_{i=1}^{n-1} A_{i,j} * A_{i+1,j} * sin\left(\frac{2П}{n}\right)\right], \qquad (1)$$

где S_j — площадь радара j-й компании; A_i, j — i-й относительный показатель j-й компании; n — количество рассматриваемых показателей.

В итоге была выявлена компания-лидер ПАО «Юнипро» с площадью радара 15485,96. Самой слабой является компания ПАО «Т Плюс» с площадью радара 2731,77.

Литература

1. **Квасникова В.В., Жучкевич О.Н.** Конкурентоспособность товаров и организаций. Практикум; Инфра-М, Новое знание — Москва, 2013.

Т.В. Носова, студ.; рук.: В.В. Бологова к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВАРИАНТА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НОВОГО ЖИЛОГО РАЙОНА

Теплоснабжение является крупной отраслью народного хозяйства. В условиях ограниченных топливных ресурсов рациональное и экономичное расходование их представляет задачу большой государственной важности. Значительная роль в решении этой задачи отводится централизованному теплоснабжению, которое базируется на использовании крупных районных котельных. Теплофикация, т.е. централизованное теплоснабжение на базе комбинированной выработки тепла и электроэнергии, является вышей формой централизованного теплоснабжения. Она позволяет сократить расход топлива на 20–25% [1].

В работе был проведен анализ качества теплоснабжения для района Солнцево Парк. Были собраны данные по наличию и степени обеспеченности тепловой энергией потребителей района, наличию источников энергоснабжения и их мощности, проведено сравнение и выбор альтернативных вариантов теплоснабжения и обоснование строительства районной котельной внутри района теплоснабжения. Ниже представлены результаты расчета для двух вариантов энергоснабжения:

Теплоснабжение от котельной, расположенной в ближайшем районе.

Теплоснабжение от котельной, построенной внутри района.

Проведя расчеты, был выбран второй вариант — теплоснабжение от котельной, построенной внутри района, т.к. суммарные дисконтированные затраты в этом варианте меньше (табл. 1).

Табл. 1. Суммарные дисконтированные затраты

Вариант теплоснабжения	$\Sigma З_д$, млн руб.
Теплоснабжение от котельной, расположенной в ближайшем районе	395,66
Теплоснабжение от котельной, построенной внутри района.	312,15

Также для второго варианта были рассчитаны значения индекса доходности (1,02), внутренней нормы доходности (8,73%), дисконтированного срока окупаемости (10 лет).

По результатам работы были сделаны выводы об экономической эффективности выбранного варианта теплоснабжения.

Литература

1. **Н.Д. Рогалёв**, А.Г. Зубкова, И.В. Мастерова и др.; Экономика Энергетики; под ред. Н.Д. Рогалёва. М.: Издательский дом МЭИ, 2011. 320 с.

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

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА МОДЕРНИЗАЦИИ КАЗАНСКОЙ ТЭЦ-1

В энергетике Татарстана с 1988 года по настоящее время было введено лишь 345 МВт генерирующих мощностей (менее 5% от установленной мощности Татарстана). Применение современных парогазовых технологий делает неэффективным производство э/эн на большинстве тепловых электрических станций республики, основанных на традиционных паротурбинных технологиях. Как результат — снижение выработки электроэнергии [1]. Активное развитие г. Казань как центра спортивной деятельности, туризма, IT-центра будет способствовать к росту энергопотребления. Рост потребности в электроэнергии на фоне снижения выработки в республике приводит к увеличению дефицита электрической мощности.

При этом, техническое состояние, экономические параметры и экологические ограничения Казанской ТЭЦ-1 обуславливает необходимость вывода ее из эксплуатации или полной модернизации, что ведет к угрозе энергетической безопасности г. Казань. В связи с этим, было решено модернизировать Казанскую ТЭЦ-1 и построить 2 новых блока ПГУ 230 МВт.

Существующий уровень цен на мощность, определяемых посредством конкурентного отбора мощности (КОМ), не позволяет покрыть инвестиционные и эксплуатационные издержки и не даёт возможности реализовать проект без программы ДПМ. В таблице 1 представлены основные показатели эффективности рассматриваемого проекта при условии его реализации по программе ДПМ и привлечении заемных средств:

Таблица 1. Основные показатели эффективности

Показатели	Ед. изм.	Значения
Чистая приведённая стоимость	млн. руб.	1 034
Внутренняя норма рентабельности	%	13,3%
Горизонт планирования	Лет	21
Срок окупаемости проекта (простой)	Лет	9,4
Срок окупаемости проекта (дисконтированный)	Лет	16,7

Проект создает «мультипликативный эффект», позволяет развивать не только собственно энергетику, но и помогать развитию бизнес-среды, создавать новые рабочие места и новые проекты.

Литература

1. Стратегия развития г. Казани. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.tatgencom.ru/press/magazine-power-tatarstan/

Н.П. Паламарчук, студ.; рук. Е.В. Сухарева, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ФОРМИРОВАНИЕ ФОНДА РЕЗЕРВНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ВО ВРЕМЕННОЕ ПОЛЬЗОВАНИЕ

Исследование посвящено вопросам изучения процессов эксплуатации газотурбинных двигателей (далее – ГТД) предприятиями топливно-энергетического комплекса (далее – ТЭК), выявлению проблем высоких материальных издержек эксплуатирующих организаций.

В исследовании решена задача формирования резервного парка ГТД предприятиями ТЭК, результатом которой является сформированный централизованный фонд резервных ГТД для предоставления во временное пользование эксплуатирующим организациям.

В процессе исследования модели эксплуатации ГТД предприятиями ТЭК был выявлен ряд недостатков, а именно высокие материальные затраты эксплуатирующих организаций на формирование производственного резерва ГТД, неспособность холдинговых структур восполнять недостаток резерва ГТД дочерних компаний [1]. На основании вышеуказанных недостатков был разработан проект формирования рационального централизованного фонда резервных ГТД для предоставления во временное пользование.

В рамках исследования была разработана методика, позволяющая смоделировать основные процессы эксплуатации ГТД предприятиями ТЭК и определить потребность эксплуатирующих организаций в аренде резервных ГТД. На примере АО «Объединенная Двигателестроительная Корпорация» проведены расчеты основных экономических показателей инвестиционного проекта по формированию фонда резервных ГТД для предоставления во временное пользование и анализ экономической выгоды эксплуатирующих организаций при аренде газотурбинных двигателей. Так для АО «ОДК» чистый дисконтированный доход за эксплуатационную фазу проекта составит 82 млн. руб.

Результатом исследования процессов эксплуатации ГТД является вывод о том, что формирование рационального централизованного фонда ГТД для предоставления во временное пользование позволит удовлетворить большую часть «пиковых» потребностей эксплуатирующих организаций в резервных ГТД.

Литература

1. **Галиуллин З.Т., Сальников С.Ю., Щуровский В.А.** Современные газотранспортные системы и технологии. М.: Газпром ВНИИГАЗ. 2014. 346 с.

А.В. Крылова, студ.; рук:. Д.А. Фрей, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ СБЫТОВЫХ НАДБАВОК ГАРАНТИРУЮЩИХ ПОСТАВЩИКОВ ДЛЯ КАТЕГОРИИ «ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ»

В ноябре 2017 года ФАС России утвердил новую методику расчета сбытовой надбавки гарантирующих поставщиков (Приказ №1554/17), за прошедшее время уже накоплены данные для анализа применения нового метода. Метод сравнения аналогов предполагает использование эталонов для определения сбытовой надбавки гарантирующих поставщиков (ГП).

В дипломной работе были рассчитаны сбытовые надбавки ГП методом сравнения аналогов и методом экономически обоснованных затрат, а так же был проведен сравнительный анализ эффективности использования новых подходов к регулированию деятельности ГП «ТНС-Энерго Кубань».

Выбранные способы расчета нельзя сравнить по полученным сбытовым надбавкам (СН) из-за того, что при использовании метода сравнения аналогов, СН устанавливаются в рублях, а методом экономически обоснованных расходов — в процентах от объема потребленной электроэнергии. Поэтому был проведен сравнительный анализ по необходимой валовой выручке (НВВ) гарантирующих поставщиков. В расчете были использованы данные по затратам, зафиксированные регулирующими органами по тарифам.

Согласно полученным результатам НВВ, рассчитанная методом экономически обоснованных затрат, составила — 513 360,08 тыс. руб., а НВВ, полученная методом сравнения аналогов составила — 1 578 992,62 тыс. руб. По данным показателям можно сказать, что НВВ методом сравнения аналогов существенно превышает НВВ, посчитанную методом экономически обоснованных расходов, на 202%.

По результатам анализа можно сделать вывод, что использование метода сравнения аналогов выгодно для рассматриваемого ГП. Однако для получения выводов об эффективности метода требуется провести анализ по всем регионам РФ. Исследования других авторов показывают, что в некоторых регионах сложилась похожая ситуация. Но все же считаем необходимым отметить, что, скорее всего, потребуется обоснованный пересмотр эталонов, а не изменение метода регулирования СН ГП.

Литература

1. **Волков А.И.** Экономика предприятия (фирмы) / О.И. Волков. — М.: ИНФРА-М, 2016
2. **Можаева С.В**. Экономика энергетического производства: учебное пособие. — СПб: Изд-во «Лань», 2015

Е.О. Гущина, студент; рук.: Д.А. Фрей, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР ПОСТАВЩИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРОМЫШЛЕННЫМ ПОТРЕБИТЕЛЕМ

Электроэнергетика относится к числу системообразующих отраслей народного хозяйства, от надежной и бесперебойной работы которой во многом зависит экономический рост. Предприятия энергетики несут ответственность за надежное, качественное и безопасное энергоснабжение всех без исключения потребителей на обслуживаемой территории.

В сфере розничных поставок электроэнергии конечным потребителям регулятором ставится задача сформировать эффективные розничные рынки электроэнергии, обеспечивающие надежное энергоснабжение потребителей при поэтапном развитии конкуренции. Таким образом, оценка стоимости покупки электроэнергии у конкурирующих поставщиков является актуальной задачей.

В дипломной работе проведены расчеты по оценке стоимости электроэнергии при покупке промышленным потребителем на основе графика нагрузки предприятия. Оценка стоимости электроэнергии для промышленного потребителя позволяет выбрать поставщика электроэнергии. Сравнительный анализ проведен на примере птицеперерабатывающего комплекса «Константиново». ППК находится в Московской области, Раменский район. Максимальная мощность предприятия — 6200 кВт, уровень напряжения 110 кВт, расчеты ведутся по пятой ценовой категории.

В рассматриваемом случае, цены на электроэнергию у независимой энергосбытовой компании (НЭСК) ниже, чем у гарантирующего поставщика (ГП). Это связанно с тем, что цена энергии формировалась для НЭСК в конкретной группе точек поставки, а для ГП в среднем по региону. Кроме того, сбытовая надбавка НЭСК ниже по условиям конкуренции. Стоимость покупки электроэнергии для рассматриваемого предприятия у ГП оценена в размере 3 212 166,15 руб. за декабрь и 4 428 766,85 руб. за январь. У независимой энергосбытовой компании за декабрь — 3 149 495,76 руб., за январь — 4 343 463,26 руб. Таким образом, на примере видно, что покупка электроэнергии по 5 ценовой категории выгоднее у независимой энергосбытовой компании для рассматриваемого предприятия в условиях сохранения графиков нагрузки.

Литература

1. **Можаева С.В**. Экономика энергетического производства: учебное пособие. — СПб: Изд-во «Лань», 2015
2. **Современная рыночная электроэнергетика Российской Федерации,** под ред. Баркина О.Г. 3-е издание. М.: Издательство «Перо», 2017. — 532 с.

Е.С. Резник, студ.; рук.: Д.А. Фрей, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ФОРМИРОВАНИЕ СТАНДАРТИЗИРОВАННЫХ СТАВОК НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРИСОЕДИНЕНИЕ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЕТЯМ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СРАВНЕНИЯ АНАЛОГОВ

Реформирование тарифной политики в области регулирования электросетевых компаний нацелено на установление экономически обоснованного уровня тарифов на технологическое присоединение к электрическим сетям, позволяющий покрыть издержки сетевой организации и привлечь больше инвестиций в отрасль. [1] Для этого нужно улучшать имеющиеся и создавать новые инструменты тарифной политики.

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что скорость присоединения характеризует доступность энергетической инфраструктуры, влияющей на инвестиционный климат. Стоимость подключения объектов к энергоснабжению — это существенный фактор ограничения экономического роста в стране.

Цель работы — формирование стандартизованных ставок на технологическое присоединение к электрическим сетям на основе метода сравнения аналогов.

Задача тарифного регулирования — определение баланса между интересами сетевой компании и потребителями.

«Метод сравнения аналогов» — метод, используемый для установления долгосрочных регуляторных параметров на основе сравнительного анализа показателей организации, осуществляющей регулируемую деятельность, с аналогичными показателями других организаций, сопоставимых с этим по экономическим и техническим характеристикам.

Результатом проведенной работы является плата за технологическое присоединение к электрическим сетям. Для этого была сформирована выборка по территориальным сетевым организациям Приморского края по каждому году и виду деятельности, определенны минимальные и максимальные уровни расходов, посчитаны средние по выборке расходы. На основе полученных данных рассчитаны стандартизированные ставки на технологическое присоединение к электрическим сетям.

Преимущества метода сравнения аналогов — это простота расчетов тарифов и прозрачность, исключение субъективизма в принятии решений и исключение тарифной дискриминации.

Литература

1. Современная рыночная электроэнергетика Российской федерации. 3-е издание / под редакцией Баркина О.Г. Издательство «Перо», 2017. — 532 с. ISBN 978-5-906988-92-8.

К.Д. Маланчева, студ.; рук. Е.В. Сухарева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

К основным видам национальной безопасности относят государственную, информационную, общественную, экологическую, экономическую, энергетическую (рис. 1).

Рис. 1 Структура безопасности

Несмотря на то, что эти виды существуют обособленно, они взаимосвязаны между собой и оказывают взаимное влияние. Поэтому их можно представить как составные, взаимодополняющие друг друга элементы.

Поскольку безопасность это состояние защищенности, то стоит отметить, что защищенность в случае энергетики включает в себя отсутствие угроз в виде надежности топливо- и энергообеспечения, доступности конечного продукта для потребителя, конкурентоспособности на рынке, поддержании и улучшении текущего состояния систем энергетики [1].

Общий подход к изучению энергобезопасности можно условно разделить на две части — упор на деятельность по обеспечению бездефицитного уровня снабжения конечным продуктом потребителей и на меры, принимаемые во время чрезвычайных ситуаций направленные на ликвидацию их последствий.

В изученных работах предлагаются различные подходы к оценке уровня энергетической безопасности предприятия, но они предполагают оценку по группам угроз. Мною предлагается усовершенствование методики оценки, отличающаяся уточнением системы показателей энергетической безопасности с учетом условий рынка, что позволяет оценить уровень энергобезопасности по современным нормам. А именно, данная методика оценки способна комплексно оценить состояние безопасности энергообъекта.

Литература

1. Приказ Минэнерго России от 26.05.2016 N 450 (ред. от 24.04.2017) «Об утверждении плана деятельности Министерства энергетики Российской Федерации на период 2016–2021 годов».

Д.А. Ястребова, студ.; рук.: В.В. Бологова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ГТУ

Использование энергетических установок, базирующихся на газотурбинных технологиях, позволяет достичь существенной экономии газа и снизить выбросы вредных веществ в атмосферу. Однако при повышении температуры наружного воздуха происходит снижение мощности ГТУ. В связи с недостаточной мощностью работы ГТУ вырабатывается меньше энергии, чем было запланировано, что ведет за собой штрафы и неустойку в ситуации, когда ГТУ должна была выдавать максимальную мощность. Поэтому точность оценки возможной к выдаче мощности влияет на экономическую эффективность газотурбинных установок и является актуальным вопросом в современной энергетике России.

Вырабатываемая ГТУ [1] мощность увеличивается практически линейно с понижением температуры воздуха. Снижение температуры подаваемого в турбину воздуха на 20 °С предотвращает потенциальное снижение мощности ГТУ на 25%. Изменение избытка воздуха тоже зависит от температуры воздуха, подаваемого в топку, и оказывает влияние на полноту сгорания топлива и на кпд котла.

На величину ЧДД [2], как критерия оценки экономической эффективности, влияет и мощность ГТУ и величина текущих затрат, в т.ч. затрат на топливо, и величина штрафов. В работе было учтено снижение выручки, затрат на топливо и величины штрафов при изменении температуры окружающей среды на 10С и проведен расчет ЧДД для ГТУ заданной мощности. При этом учитывалось влияние на эффективность работы ГТУ таких факторов [3], как параметры наружного воздуха (температура, давление и влагосодержание) и теплотворная способность подаваемого топлива. В результате более точного планирования возможности по выдаче мощности было определено, что экономическая эффективность ГТУ вырастет на 2% за счет снижения штрафов за не выданную мощность.

Литература

1. **Поршаков Б.П.** Газотурбинные установки на газопровода. ГУП Издательство «Нефть и Газ», 2003.
2. **Н.Д. Рогалев,** А.Д. Зубкова, И.А. Мастерова и др.; под редакцией Н.Д. Рогалева. Учебное пособие для вузов / М.: Издательство МЭИ, 2011.
3. Основы современной энергетики: курс лекций для менеджеров энергетических компаний / под общ. Ред. Чл. — корр. РАН Е.В. Аметистова. М.: Издательство МЭИ, 2002.

О.В. Сергеенко, студ.; рук. А.Г. Зубкова, к.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРИМЕРЕ ГУП «БРЯНСККОММУНЭНЕРГО»

В настоящее время цифровизация становится драйвером не только технологического, но и социально-экономического развития. Последнее особенно актуально в отрасли ЖКХ. Проведенный автором анализ экономической эффективности реализации проекта по внедрению цифровых технологий в системе учета потребления энергоресурсов и расчета с потребителями на базе применения Единого сервера на предприятии ГУП «Брянсккоммунэнерго» подтвердил инвестиционную привлекательность данного проекта, срок окупаемости которого составил менее 7 лет. Кроме того, в результате реализации проекта высвобождаются не менее 14 работников, ранее занимавшихся расчетами с потребителями. Суммарные капитальные вложения в проект составили менее 17 млн. рублей, а экономия годового ФОТ составила более 1,3 млн. рублей.

Расчет проводился без учета экономических эффектов, обусловленных сокращением рабочих мест и повышением качества услуг. Внедрение Единого сервера обеспечит повышение прозрачности, управляемости существующих систем. Это поможет добиться снижения коммерческих потерь и создаст условия для мониторинга состояния жилищного фонда, своевременное проведение ремонтов. В свою очередь это будет способствовать уменьшение затрат на капремонт и уменьшит тепловые потери в сетях и у потребителей. Установка автоматических приборов учёта информации также будет включена в программу цифровизации, однако планируется, что они будут приобретаться владельцами недвижимости. Однако внедрение счетчиков должно быть поэтапным. С учетом рассчитанной в работе финансовой модели, наиболее приемлемым вариантом реализации проекта представляется государственно-частное партнерство, что позволит привлечь в проект частный капитал, который обеспечит его реализацию своими силами и за счет своих средств в обмен на участие в доходах. Дальнейшее развитие цифровизации должно быть связано с расширением функционала вычислительных комплексов за счет использования их для совершенствования деятельности на разных уровнях системы управления: при составлении планов и программ текущих ремонтов жилого фонда и систем энергоснабжения, а также при формировании стратегий развития жилищного хозяйства на данной территории.

Направление

ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОФИЗИКА

Директор ИТАЭ, д.т.н., профессор,
член-корр. РАН А.В. Дедов

Секция 39.
АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И УСТАНОВКИ

Председатель секции — Аникеев Александр Викторович
Секретарь секции — Каверзнев Михаил Михайлович

Д.В. Финошкина, студ.; рук. О.И. Мелихов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПАРОВОМ ВЗРЫВЕ В ПОДРЕАКТОРНОМ ПОМЕЩЕНИИ АЭС С РБМК-1000

В работе анализируется сценарий развития тяжелой аварии на АЭС с РБМК на стадии тяжелого повреждения активной зоны (АЗ), в ходе которого топливосодержащие массы (ТСМ) обрушаются в подреакторное пространство, заполненное пароводяной смесью.

После появления ТСМ в подреакторном помещении происходит их взаимодействие с бетоном основания реактора. Существует потенциальная опасность проплавления бетонной плиты перекрытия и обрушения ТСМ в воду бассейна — барботера. В качестве основной стратегии удержания ТСМ в границах реакторного пространства предусмотрен отвод остаточного энерговыделения от реактора и охлаждение опорных металлоконструкций за счет подачи воды, однако заполнение подреакторного пространства жидкостью может повлечь за собой создание условий для возникновения парового взрыва [1].

Поведение системы кориум — теплоноситель после взрыва было проанализировано с помощью метода, основанного на построении адиабаты Гюгонио [2]. Предполагается, что паровой взрыв реализуется в форме волны термической детонации, что позволяет сформулировать уравнения сохранения массы, импульса и энергии, связывающие эти величины в исходной смеси расплава с водой и в состоянии, когда устанавливается равновесное состояние компонент смеси (точка Чепмена — Жуге). Следствием этих уравнений является соотношение Гюгонио

$$p - p_0 - 2\frac{h - h_0}{v + v_0} = 0 \quad (1)$$

Уравнение (1) определяет связь давления и удельного объема смеси в точке Чепмена — Жуге, которая на плоскости «давление — удельный объем» изображается кривой (адиабата Гюгонио). Для параметров описанной выше системы была построена адиабата Гюгонио, и графическим анализом оценено давление в точке Чепмена — Жуге.

Литература

1. **Степанов Е.В.** Физические аспекты явления парового взрыва // Препринт ИАЭ. №54503/3. М. 1991. 95 с
2. **Iskhakov A.S., Melikhov V.I., Melikhov O.I.** Hugoniot analysis of energetic molten lead-water interaction // Annals of Nuclear Energy 129 (2019), p. 437–449

Д.В. Финошкина, студ.; рук. А.М. Осипов (НИЦ «КИ»)

АНАЛИЗ ТЯЖЕЛОЙ СТАДИИ АВАРИИ НА АЭС С РМБК-1000 С ПОМОЩЬЮ РАСЧЕТНОГО КОДА «СОКРАТ»

Расчетный код (РК) СОКРАТ [1] предназначен для комплексного численного моделирования динамики процессов, происходящих в реакторных установках (РУ) типа ВВЭР при тяжелых запроектных авариях (ЗПА) с потерей теплоносителя.

РК СОКРАТ успешно используется для моделирования корпусных РУ на тепловых нейтронах с водным теплоносителем (КЛТ-40С) и РУ на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем (БН-600, БН-1200) [2]. Применение РК для анализа тяжелых ЗПА на других типах РУ требует дополнительного обоснования и проведения верификационных расчетов.

Существующий опыт моделирования аварии типа «полное обесточивание» на канальных РУ на тепловых нейтронах с водным теплоносителем (РБМК-1000) в АО «НИКИЭТ» показывает успешное использование РК для анализа аварии на стадии расплавления активной зоны. Однако результаты данного исследования получены в предположении отсутствия отвода тепла от активной зоны к металлоконструкциям реактора, что вносит существенный консерватизм в полученные значения временных характеристик аварии и не позволяет исследовать дальнейшую стадию ЗПА с движением топливосодержащих масс (ТСМ).

Основное отличие расчетов, проведенных в настоящей работе, от исследований, проводимых ранее — это учет аксиальной теплопроводности между элементами конструкции РУ.

Расчетная модель включала в себя тепловые структуры, описывающие элементы АЗ реактора, структуры, моделирующие трубопровод нижних водяных коммуникаций до «калача», тракт канала и опорные конструкции реактора. Теплопроводность между элементами конструкции реактора, расположенными на разных высотных уровнях, моделировалась путем введения «виртуальных» тепловых потоков из-за градиента температур.

Учет теплопроводности приводит к существенному изменению временных характеристик развития тяжелой стадии аварии с полным обесточиванием энергоблока с РУ типа РБМК-1000.

Литература

1. Расчетный код СОКРАТ/В1, аттестационный паспорт программного средства №275 от 13.05.10, ИБРАЭ РАН
2. http://ibrae.ac.ru/contents/267. // Интегральный тяжелоаварийный код СОКРАТ

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

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ РАЗРУШЕНИЯ КОРПУСА РУ ВВЭР-1000 ПРИ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТРЕНАЖЕРАХ АЭС

Имевшие место на АЭС тяжелые аварии с разрушением активной зоны и, в частности, авария на АЭС Фукусима, показали насущную необходимость разработки математических моделей, описывающих протекание тяжелых аварий. Существующие модели рассматривают только температурное разрушение корпуса реактора, утверждая, что время механического разрушения несущественно отличается от температурного [1].

Целью настоящей работы является определение условия применения температурных и механических критериев разрушения корпуса реактора ВВЭР-1000 в математической модели тяжелых аварий. В ходе работы было произведено моделирование степени механического разрушения корпуса реактора в зависимости от различных давлений в реакторе. Были построены две математические модели. Построение математической модели разрушения корпуса реактора при использовании метода тонкостенных цилиндров показало колоссальное влияние давления на время разрушения корпуса. Время сквозного проплавления стенок корпуса реактора кориумом незначительно отличается от времени механического разрушения корпуса только в том случае, когда избыточное давление внутри реактора менее 0,2 МПа. Повышение давления внутри реактора вплоть до порога срабатывания предохранительных клапанов (18–19 МПа) уменьшает время до разрушения корпуса более чем в 10 раз.

Построение математической модели разрушения корпуса реактора при использовании метода толстостенных цилиндров показало, что неучёт температурных напряжений в расчетах значительно снижает их точность.

Сравнительный анализ результатов моделирования тяжелых аварий с разрушением корпуса методами тонкостенных и толстостенных цилиндров доказал, что использование на тренажёрах АЭС модели построенной на основе метода толстостенных цилиндров дает более точное время до разрушения корпуса.

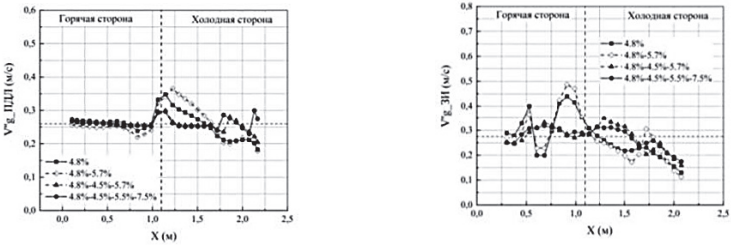
Литература

1. Прикладное программное обеспечение моделей технологических систем. Техническое описание. Математическая модель системы «SA» Модель тяжелых аварий. Книга 19. General Energy Technologies, 2015.

Т.Т. Ле, асп.; рук. В.И. Мелихов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫРАВНИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОГРУЖЕННОГО ДЫРЧАТОГО ЛИСТА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПАРОГЕНЕРАТОРА РУ ВВЭР

Увеличение мощности парогенераторов АЭС с ВВЭР требует усовершенствования их сепарационной схемы и, в частности, погруженного дырчатого листа (ПДЛ). В настоящей работе приведены результаты исследований выравнивающей способности ПДЛ с использованием экспериментальных данных, полученных на стенде ПГВ [1] и расчетного кода STEG [2]. Были выполнены расчеты для неравномерной подачи пара на горячую и холодную стороны (соотношение расходов 3:1) для различных схем перфорации ПДЛ. На рис. 1 показано распределение приведенной скорости пара на ПДЛ и зеркале испарения. Видно, что для выравнивания расхода пара необходимо не допускать резких изменений степени перфорации. На основании выполненных расчетов было установлено, что оптимальная схема перфорации ПДЛ включает в себя четыре участка — 4,8% — 4,5% — 5,5% — 7,5% (участки располагаются по направлению от горячей половины к холодной половине).



(а) (б)

Рис. 1. Распределение приведенной скорости пара при отношении расходов пара на горячей и холодной сторонах 3:1, с разными схемами перфорации ПДЛ. а) через ПДЛ; б) на зеркале испарения.

Литература

1. Экспериментальные исследования гидросопротивления и выравнивающей способности ПДЛ на стенде ПГВ. Отчет ОАО «ЭНИЦ»; руководитель работы О.И. Мелихов. Электрогорск, 2014 г. — 132 с.
2. **Le T.T., Melikhov V.I. et al.** Validation of the STEG code using PGV experiments on hydrodynamics of horizontal steam generator // Nuclear Engineering and Design, 2020, Volume 356, 110380. https://doi.org/10.1016/j. nucengdes. 2019.110380.

А.Л. Малышева асп.; рук. Ю.Б. Воробьев к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В ПАРОГЕНЕРАТОРАХ АТОМНЫХ ЛЕДОКОЛОВ

В докладе представлен подход на основе совместного использования ряда расчетных кодов для решения проблемы растрескивания трубчатки парогенераторов (ПГ) атомных ледоколов. В частности, формулируются направления работ по разработке и расчетно-теоретическому обоснованию механизма возникновения аномального наводораживания титанового сплава в месте экспериментально обнаруженного растрескивания [1], приводятся результаты расчетов.

Во всех зафиксированных случаях отказов ПГ атомных ледоколов причиной является аномально наводораживание титанового сплава. Исследование причин данного негативного явления в материалах конструкции позволит обосновать рекомендации по их устранению и тем самым обеспечит герметичность трубчатки ПГ [2].

На основе многофизичного, многомасштабного подхода для расчетного исследования процессов радиационно-химических превращений, межфазного массопереноса и транспорта компонентов водного теплоносителя разработана подробная модель ПГ на основе кода улучшенной оценки Relap5. Были рассчитаны макропараметры, хорошо совпавшие с проектными значениями. Полученные характеристики теплоносителя в элементах ПГ, в свою очередь, использовались далее в более детальных моделях CFD кода, которые моделируют сложное движение теплоносителя первого контура на входе в ПГ и на выходе из него и предназначаются для уточненного анализа возможности транспорта газов в нижней части ПГ на входе во внутренний цилиндр. Приводятся результаты расчетов.

Литература

1. Отчет ФГУП ЦНИИКМ «Прометей». Анализ результатов материаловедческих исследований и испытаний образцов, вырезанных из ПГ-28 АППУ, а/л «Таймыр», разработка, оформление и согласование заключений и рекомендаций, 2015 г.
2. **А.М. Бахметьев, Н.Г. Сандлер и др.** Анализ возможных причин и механизмов отказов трубных систем парогенераторов атомных судов. Арктика: экология и экономика №3 (11), 2013 стр. 97–101.

Г.Ю. Волков, асп.; рук: О.И. Мелихов, д.ф.-м.н., проф., (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ КОНДЕНСАЦИОННОГО ГИДРОУДАРА НА СТЕНДЕ «ЭНИЦ»

Опыт эксплуатации водо-водяных реакторов указывает на то, что в результате аварийных ситуаций или неверных действий персонала в контурах ЯЭУ могут возникать конденсационные гидроудары (КГУ), приводящие к разрушению оборудования. В частности, они наблюдаются в системе аварийного газоудаления, в коллекторах и трубном пучке парогенераторов, в трубопроводах питательной воды парогенераторов АЭС с ВВЭР, в деаэрационно-питательной установке, а также при срабатывании БРУ-А. Большое число аварийных случаев с КГУ на действующих АЭС, стали причиной пристального изучения данного явления в научных организациях по всему миру.

Экспериментальные исследования КГУ были проведены в Электрогорском научно-исследовательском центре на специально созданном стенде. Рабочий участок стенда представлял собой горизонтальный канал, подключенный с одной стороны к вертикальному сосуду объемом 8 л с другой к линии подачи воды. В начальный момент времени в запаренный рабочий участок подавалась холодная вода. В экспериментах изучалось влияние расхода подаваемой воды, ее температуры и начального давления пара на частоту и амплитуду КГУ. Всего было выполнено 36 экспериментальных режимов. В каждом режиме были зафиксированы КГУ. Максимальное значение давления при КГУ достигало 20 бар. Гидроудары происходили в среднем с интервалом 4 секунды.

С помощью теплогидравлических кодов WAHA3 [1] и RELAP5 было выполнено численное моделирование проведенных экспериментов. Расчет кодом RELAP5 показал удовлетворительное совпадение с результатами эксперимента как по частоте возникновения пиков давления, так и по их амплитуде. Амплитуда пиков, полученная с помощью кода WAHA3, оказалась заметно выше экспериментальной.

Литература

1. **Волков Г.Ю., Вилюра Е.В., Мелихов В.И., Мелихов О.И.** // Тестирование и верификация кода WAHA, предназначенного для моделирования конденсационного гидроудара. Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок. Периодический рецензируемый научно-технический сборник №1 (15) 2019. С. 45–55. ISSN 2414–5726. ФЯО ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»

К.В. Запоржин, студент (НИУ «МЭИ»); руководители Д.А. Олексюк, к.т.н.; Д.Р. Киреева (НИЦ «Курчатовский Институт»)

СРАВНЕНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК РК3 И РК3+ РЕАКТОРА ВВЭР-440

В настоящее время рассматривается вариант внедрения модернизированных бесчехловых рабочих кассет третьего поколения РК3+ на АЭС «Дукованы» с реакторами ВВЭР-440 [1]. Это топливо представляет ценность с точки зрения положительного воздействия на экономику топливного цикла реакторов. На Кольской АЭС уже более 7 лет эксплуатируется топливо РК3, отличающееся уголком кассеты, который, по сравнению с кассетой РК3+, охватывает три периферийных твэла вместо пяти. В связи с этим, важным вопросом является сравнение по теплогидравлическим характеристикам двух типов кассет третьего поколения: РК3 и РК3+.

Целью данной работы было расчётное сопоставление данных по влиянию конструкций кассет РК3 и РК3+ на обмен теплоносителем как между кассетой и зазором, так и между кассетами.

Были выполнены расчеты с помощью ячейковой теплогидравлической программы SC–INT [2]. В работе оценено влияние водообмена на параметры теплоносителя в кассете, особенно в периферийной зоне ТВС. Сравнение проведено по таким параметрам как: максимальная температура теплоносителя в ячейке пучка и минимальный запас до кризиса теплоотдачи (DNBR). Было выявлено, что увеличенный уголок приводит к повышению максимальной температуры, что требует использования профилированных твэлов в углах этой кассеты [3]. Результаты данной работы будут полезны разработчикам кассет с целью совершенствования их конструкции.

Литература

1. New fuel of the third plus generation with modified ja-profile enrichment in fuel assembly of VVER-440. Advanced 15 monthly fuel cycles for VVER-440. Zh. Liventseva, A. Gagarinsky 28th AER SYMPOSIUM on VVER Reactor Physics and Reactor Safety, October 8–12, 2018 Olomouc, Czechia.
2. **Олексюк Д.А. Кобзарь Л.Л.** ПРОГРАММА SC–INT (версия 03) ИНСТРУКЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ — 2013 г.
3. **D.R. KIREEVA, D.A. OLEKSYUK**, «Numerical investigations on the effect of the axial interval between intensifying spacer grids on the critical heat flux value for fuel assemblies with non-uniform axial power distribution», «Operation, modeling and experimental support for VVER fuel», Varna, Bulgaria, September 26 — October 3, 2015.

А.Г. Зубков, студент; рук. В.М. Зорин, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ)

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЗРАБОТОК ВВЭР СКДИ

В НИЦ «Курчатовский институт» разрабатывается концепция нового реактора со сверхкритическими параметрами теплоносителя и интегральной компоновкой первого контура — ВВЭР СКДИ.

На кафедре АЭС НИУ МЭИ к настоящему моменту выполнены следующие работы, связанные с СКДИ:

- разработаны конструктивная схема парогенератора, с минимально возможную длиной теплообменных труб, и математическая модель контура естественной циркуляции реактора [1];
- предложена тепловая схема ПТУ и проведены расчеты с определением показателей тепловой экономичности;
- проработаны вопросы возможности повышения тепловой мощности активной зоны (АЗ) путем выравнивания средней температуры теплоносителя на выходе из АЗ [2];

Анализ работ показал, что требуют решения вопросы, касающиеся, в первую очередь, специфики теплообмена в области псевдофазового перехода (ПФП) водного теплоносителя. В рамках ответа на эти вопросы необходимы исследования в областях:

- влияния процессов образования и смыва отложений при переходе водного теплоносителя через точку ПФП на работу твэл в АЗ;
- режимов теплоотдачи при ПФП и условий возникновения режимов ухудшенной теплоодачи (РУТ) и пульсаций давления (РПД), определения границ возникновения РУТ и РПД;

Как видно, все перечисленные проблемы связаны с теплофизикой и теплогидрвалической надежностью АЗ. Для исследования данных проблем необходимы эксперименты на стенде с параметрами, максимально приближенными к условиям в АЗ реактора СКДИ. Определение облика стенда и проводимых на нем экспериментов — наиболее важная задача на данном этапе разработки реактора ВВЭР СКДИ.

Литература

1. **Силин В.А., Зорин В.М.** Расчетное исследование контура естественной циркуляции реактора В-670 СКДИ //Вестник МЭИ. 2014. №. 3. С. 28–34;
2. **Силин В.А. Зорин В.М., Хлопов Р.А.** Возможность повышения мощности интегрального водоохлаждаемого реактора сверхкритического давления// Вестник МЭИ. 2016. №. 5. С. 25–29.

А.С. Сергеев, студент.; рук. Ю.Б. Воробьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСИМУЛЯТОРА ДЛЯ НАСТРОЙКИ СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТИПА АВАРИЙ НА АЭС

Современные АЭС являются крайне сложными высокотехнологичными объектами. В случае аварии на атомной станции происходит взаимодействие различных компонентов и физических процессов, вследствие чего происходящие процессы приобретают крайне сложный, труднопрогнозируемый характер. К оператору АЭС на малом отрезке времени в стрессовой ситуации поступает огромный объем информации, что сильно затрудняет первоначальную идентификацию типа аварии и прогнозирование ее развития и чревато ошибками с тяжелыми последствиями. Решение данной проблемы возможно на основе использования современных информационных технологий поддержки оператора и анализа ситуации, в частности, нейросетевых [1,2].

В данной работе рассмотрен вариант использования системы идентификации типа аварии на основе симулятора нейронных сетей. Представлены результаты настройки нейронных сетей для идентификации аварий типа LOCA для АЭС с ВВЭР-1000 с варьированием числа параметров обучения и количества возможных сценариев аварии, приводятся результаты анализа.

В работе обоснован выбор оптимального распределения данных для обучения и настройки нейросети, показаны методы достижения необходимой точности. Продемонстрирована возможность практически безошибочного определения типа аварии, даны графические иллюстрации результатов и их интерпретация.

В работе также рассмотрены варианты масштабирования предложенного подхода на большее число типов аварий, больший объем обрабатываемых данных, другие типы реакторных установок.

Результаты работы могут быть полезны научным, проектным и эксплуатирующим организациям отрасли, занимающимся разработкой тренажеров, систем поддержки операторов АЭС, вопросами анализа аварийных ситуаций, переходных и аварийных процессов, анализом безопасности действующих и перспективных АЭС.

Литература

1. **Ю.Б. Воробьёв, К.Н. Чыонг Ван.** Система распознавания типа аварий на атомных электростанциях. Вестник МЭИ, 2015, №4, С. 14–20.
2. **Ю.Б. Воробьев, П. Кудинов, М. Ельцов, К. Кёоп, К.Н. Чыонг Ван.** Применение информационных технологий (генетические алгоритмы, нейронные сети, параллельные вычисления) в анализе безопасности АЭС. Труды Института системного программирования РАН, том 26, 2014 г. Выпуск 2. С. 137–158

В.Р. Процкив, А.М. Латыпов, асп.; рук-ли М.М. Каверзнев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ») Р.Н. Такташев, к.т.н. (ОАО «ВТИ», Москва)

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ШАРИКОВОЙ ОЧИСТКИ КОНДЕНСАТОРОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Условием эффективности систем шариковой очистки (СШО) является устойчивая циркуляция пористых резиновых шариков (ПРШ) по тракту СШО. После повышения ставок водного налога электростанции с прямоточной системой охлаждения снизили расход охлаждающей воды в конденсаторы паровых турбин (ПТ). В зимний период до 30% от номинального, в летний — до 70%. Последствием экономии воды является нарушение циркуляции ПРШ в тракте СШО, что в конечном итоге приводит к пережогу топлива. РД 34.30.403–93 [1] рекомендует применение двух типов ПРШ для зимнего и летнего режимов, однако это не решает проблемы.

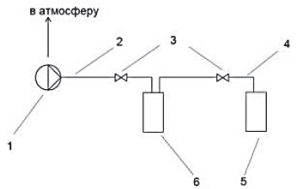


Рис. 1. — Вакуумная установка
1 — вакуумный насос;
2 — трубка отсоса воздуха;
3 — запорная арматура;
4 — трубка подачи воды;

На циркуляцию ПРШ существенное влияние оказывает их качество. Однако часто входной и текущий контроль ПРШ на электростанциях не налажен. Предлагается организовать входной контроль, включающий в себя: измерение диаметров ПРШ с помощью специально откалиброванных конусов, расчет кажущейся плотности и определение смачиваемости на вакуумной установке, схема которой представлена на рисунке 1.

Качество шариков решает только часть проблемы. Для обеспечения надежной очистки трубок конденсаторов предлагается периодически кратковременно повышать расход до номинального.

Комплекс мер, предложенных авторами, позволяет обеспечить надежную работу СШО в новых, более жестких условиях, что подтверждается результатами испытаний.

Применение контроля качества ПРШ при периодическом повышении расхода охлаждающей воды в конденсаторе позволяют восстановить эффективность работы СШО даже на сниженных расходах воды, в сравнении с номинальными.

Литература

1. **РД 34.30.403–93.** Методические указания по наладке и эксплуатации систем шариковой очистки конденсаторов паровых турбин.

Б.В. Салтыков, асп.; рук. А.А. Свитцов, к.т.н., доц. (РХТУ, Москва)

СПОСОБ РЕЦИКЛИНГА ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ДЕЗАКТИВИРОВАННЫХ КУБОВЫХ ОСТАТКОВ АЭС

В процессе эксплуатации атомных электростанций (АЭС) образуется большое количество жидких радиоактивных отходов (ЖРО). По действующей технологии все эти ЖРО подвергаются упариванию, а образующиеся концентраты — кубовые остатки (КО) — размещаются в специально созданных ёмкостях временного хранения, обеспечивающих нераспространение радиоактивности в течение многих лет.

Однако КО являются потенциальным сырьем ценных компонентов, таких как нитрат натрия с небольшой примесью калийных солей и борсодержащие вещества, которые можно вернуть в рабочий контур.

Автор предлагает технологию разделения компонентов вторичных отходов непосредственно на площадке АЭС с получением химических продуктов, которые могли бы повторно использоваться на станции. В основу технологии положен мембранный метод разделения — электродиализ с биполярными мембранами. Такой метод позволяет получать кислоту и щёлочь из растворов электролитов без использования дополнительных реагентов [1]. В данной ситуации появляется возможность получения смешанной щёлочи NaOH + KOH и азотной кислоты. При этом растворы борсодержащих компонентов, не являющихся электролитами, через мембрану проходить не будут.

В целях реализации разработанной технологии покомпонентного разделения исходного раствора была изготовлена лабораторная электродиализная установка. Специфика реализации этого проекта заключалась в том, что при работе с солями борной кислоты необходимо учитывать опасность при определенных значениях pH выпадения их в осадок. Было установлено, что для минимизации ухода борных компонентов необходимо проводить процесс при низких значениях pH, т.е. следует проводить подкисление раствора. Для этого можно использовать полученную в процессе азотную кислоту.

Результаты исследований могут быть использованы для модернизации установок цементирования.

Литература

1. **Пилат Б.В.** Основы электродиализа. М.: Аввалон, 2004. 456с.

С.В. Белояров, студ.; рук. К.Н. Проскуряков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧАСТОТ АВТОКОЛЕБАНИЙ В РЕАКТОРАХ ВВЭР НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ РЕЗОНАТОРА ГЕЛЬМГОЛЬЦА

В настоящей работе был исследован реактор ВВЭР с помощью численных методов моделирования на основе электроакустического аналога. [1,2] Разработана программа, позволяющая производить расчет геометрических, термодинамических и акустических параметров среды на участках, имеющих различные геометрические характеристики. Код программы разработан с учётом имеющихся сведений в этой области и написан на языке программирования C. С помощью программы были рассчитаны частоты колебаний теплоносителя в компенсаторе давления в одном из режимов эксплуатации АЭС при температуре теплоносителя на выходе из реактора 60°C и давлении 1.765 МПа. Результаты частот, полученные при расчёте, совпали с расчётами, проведёнными ранее.

Литература

1. **Проскуряков К.Н.** Использование виброакустических шумов для диагностики технологических процессов в АЭС. М.: МЭИ, 1999.
2. **Проскуряков К.Н.** Теплогидравлическое возбуждение колебаний теплоносителя во внутрикорпусных устройствах ЯЭУ. — М.:МЭИ,1984, — 67 с.

И.А. Никитченко, студ; рук. К.Н. Проскуряков, д.т.н., проф. (НИУ»МЭИ»)

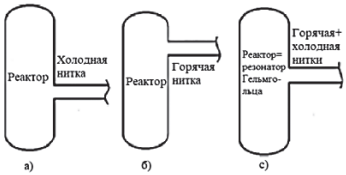
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СПЕКТРА АКУСТИЧЕСКИХ СТОЯЧИХ ВОЛН ГЕНЕРИРУЕМЫХ РЕАКТОРОМ ВВЭР-1000 В ПУСКОВЫХ РЕЖИМАХ

Для расчета применена модель реактора в виде резонатора Гельмгольца. Акустическая система, состоящая из ядерного реактора с присоединенными входящими и выходящими трубопроводами представляет собой сложный резонатор Гельмгольца, способный генерировать несколько акустических стоячих волн (АСВ) одновременно. Три стадии (а, б, с) формирования комплексного резонатора Гельмгольца показаны на Рис. 1 [1].

В таблице приведены результаты расчета для трех стадий формирования модели, соответственно которым получены три значения частот АСВ для каждого эксплуатационного режима, которые приведены в таблице.

Табл. 1. Результаты расчета частот АСВ, Гц

	4 ХН+4 ГН+реактор	4 ГН+реактор	4 ХН+реактор
Режим 1	41.903	34.229	24.171
Режим 2	40.496	33.266	23.093
Режим 3	34.043	28.029	19.322
Режим 4	48.125	39.623	27.314



а) объединение холодных патрубков холодных ниток (ХН),
б) объединение горячих патрубков горячих ниток (ГН),
с) сложный резонатор Гельмгольца с одним горлом.

Рис. 1. Стадии формирования комплексного резонатора Гельмгольца

При совпадении частот акустических волн, генерируемых реактором с частотами вибрации оборудования и ТВС, уровень вибрации резко возрастает и могут превысить допустимые проектом значения.

Литература

1. **Проскуряков К.Н.** Создание и верификация акустической модели ядерного реактора. Наукоемкие технологии / №4–2019 DOI 10.18127/j19998465-201904-07

I.A. Nikitchenko, student; prof. K.N. Proskuryakov. (NRU «MPEI»)

PREDICTION OF THE SPECTRUM OF ACOUSTIC STANDING WAVES GENERATED BY THE VVER-1000 REACTOR IN STARTING CONDITIONS

For the calculation, a reactor model in the form of a Helmholtz resonator was used. The acoustic system, consisting of a nuclear reactor with connected inlet and outlet pipelines, is a complex Helmholtz resonator capable of generating several acoustic standing waves (ASW) simultaneously. Three stages (a, b, c) of the formation of a complex Helmholtz resonator are shown in Fig. 1 [1]

The table shows the calculation results for the three stages of the formation of the model, respectively, which received three values of ASW frequencies for each operating mode, which are given in the table.

Tab 1. Calculated frequencies ASW, Hz

	4 cold+4 hot+reactor	4 hot+reactor	4 cold+reactor
Mode 1	41.903	34.229	24.171
Mode 2	40.496	33.266	23.093
Mode 3	34.043	28.029	19.322
Mode 4	48.125	39.623	27.314

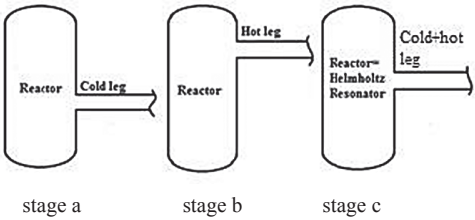


Fig 1. Stages of formation of a complex Helmholtz resonator

If the frequencies of the acoustic waves generated by the reactor coincide with the vibration frequencies of the equipment and the fuel assembly, the vibration level increases sharply and can exceed the values allowed by the design.

Literature

1. **Proskuryakov K.N.** Creation and verification of an acoustic model of a reactor. Modern scientific technologies / №4–2019 DOI 10.18127/j19998465-201904-07

В.Н. Подгорный, асп.; рук. Ю.Б. Воробьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ДВАБ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАВУЧЕЙ АЭС

Анализ безопасности объектов ядерной энергетики является одним из ключевых элементов для дальнейшего использования и развития как крупных АЭС, так и различного типа разрабатываемых атомных электростанций малой мощности (АЭС ММ) и транспортабельных ЯЭУ (ядерных энергетических установок).

Кроме типовых аварий, связанных с течами теплоносителя из первого контура, существует тенденция по расширению спектра рассматриваемых событий, которые сейчас включают как падение самолета, так и пожары различного типа. Из вероятностного анализа безопасности АС следует, что доля риска в общем значении частоты повреждения активной зоны реактора, приходящаяся на пожары, может достигать 50%. Поэтому является важным правильно моделировать процесс горения на объектах ядерной энергетики для прогнозирования и оценивания соответствующей опасности.

Исходя из этого анализ пожарной безопасности АЭС является стандартной процедурой ВАБ [1] (вероятностного анализа безопасности), в которой рассматривается набор типовых сценариев возгорания, таких как, например, возгорание кабельных лотков, электрощитов и т.п. Сложность всех процессов и взаимодействия между собой определяет нелинейный характер поведения результирующих характеристик. Для учета комплексного, зависящего от времени, взаимодействия различных процессов применяются методы ДВАБ (динамического вероятностного анализа безопасности).

В работе представлен оригинальный подход к динамическому вероятностному анализу безопасности основанный на алгоритме поиска глобального оптимума, который используется в данной работе для учета неопределенностей, связанных с используемыми моделями горения, возможными действиями персонала и изменением режимов работы оборудования. В ходе расчетов был обнаружен наихудший маловероятный сценарий с серьёзными последствиями, учет которого в анализе безопасности ядерных объектов, позволит избежать крупных радиационных катастроф.

Литература

1. **Yoon-Hwan Lee, Jong-Hoon Kim, Joon-Eon Yang** Application of the CFAST zone model to the Fire PSA// Nuclear Engineering and Design. V. 240. 2010. P. 3571–3576.

М.В. Манухин, И.С. Кузнецов, В.А. Карманова, студенты;
рук. К.Н. Проскуряков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СПЕКТРА АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН, ГЕНЕРИРУЕМЫХ ПАРОГЕНЕРАТОРАМИ АЭС С ВВЭР

Для расчёта частоты акустических волн, генерируемых в петле АЭС с ВВЭР-1000, применен» метод электроакустических аналогий [1, 2].

Петля АЭС представлена в виде последовательного соединения акустических элементов, являющихся колебательными контурами, которые соответствуют горячему трубопроводу, соединяющему реактор с горячим коллектором парогенератора, горячему и холодному коллекторам, трубкам поверхности теплообмена и трубопроводу, соединяющему холодный коллектор с главным циркуляционным насосом. Показано, что акустическая модель петли состоит из колебательных контуров с сосредоточенными параметрами.

Проведены расчеты спектра акустических волн, генерируемых парогенераторами АЭС.

Прогнозирование спектра частот акустических волн проведено для режимов, предусмотренных программой пуско-наладочных работ энергоблока с реактором ВВЭР-1000.

Результаты расчётов показывают, что при заданных теплофизических параметрах теплоносителя частоты генерируемых парогенераторами акустических волн, находятся в диапазоне от 4 до 14 Гц.

Результаты прогноза сопоставлены с данными измерений спектров вибраций оборудования и пульсаций давления теплоносителя [3].

Установлено, что прогнозируемые частоты акустических волн присутствуют в спектрах вибраций оборудования и пульсаций давления теплоносителя.

Показано, что частоты акустических волн в ряде пусковых режимах совпадают с частотами вибрации оборудования, что приводит к увеличению уровня вибраций. При оценке остаточного ресурса оборудования необходимо учитывать суммарную длительность таких режимов при выводе реактора на номинальный уровень мощности и количество пусков (остановов) за весь период эксплуатации энергоблока.

Литература

1. **Проскуряков К.Н.** Использование виброакустических шумов для диагностики технологических процессов в АЭС. М.: МЭИ, 1999.
2. **Тихонов А.Н., Самарский А.А.** Уравнение математической физики. М.: Наука, 1977
3. Отчет. Результаты вибродинамического контроля оборудования ГЦК реакторной установки В-320 блока №1 Ростовской АЭС.

Ч.Ч. Лэ, асп.; рук. О.И. Мелихов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОНЫ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ РАСПЛАВА С ВОДОЙ В СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ

В экспериментах [1], посвященных исследованию термического взаимодействия высокотемпературного (порядка 1000 К) слоя расплава с водой, находящейся над расплавом, были зарегистрированы сильные паровые взрывы. Это указывает на то, что перед взрывом на границе раздела расплава и воды успевает сформироваться область хорошо перемешанной смеси расплава с водой, в которой и осуществляется паровой взрыв. В [1] было предположено, что механизмом образования такой смеси является конденсация паровых пузырьков, образующихся на границе расплава с водой. При этом возникает движение воды в виде кумулятивных струек, обладающих существенной кинетической энергией, направленных в сторону расплава. При взаимодействии с водой они продуцируют встречные, направленные вверх, всплески расплава. В результате таких противонаправленных движений воды и расплава вблизи границы раздела формируется динамически существующая область, в которой расплав и вода перемешаны. В работе на основе численного исследования конденсации пузырька перегретого пара в недогретой воды при параметрах экспериментов [1] выполнена оценка кинетической энергии, которую приобретает вода в этом процессе. Для описания течения пара использовались уравнения сохранения теплопроводного сжимаемого газа, моделирование течения воды осуществлялось на основе уравнений несжимаемой теплопроводной жидкости. Численное исследование показало, что конденсация пузырька существенно перегретого пара (несколько сотен градусов Кельвина) происходит гораздо быстрее, чем конденсация пузырька насыщенного пара. Причиной быстрой конденсации пузырька перегретого пара является высокий тепловой поток от пара к поверхности пузырька, эффективно отводящий тепловую энергию пара и снижающий давление в пузырьке. Расчеты показали, что приобретаемая водой кинетическая энергия достаточна, чтобы при воздействии на расплав выбивать капли расплава вверх на высоту порядка 5 см, в результате чего формируется перемешанный слой, толщина которого соответствует наблюдениям [1].

Литература

1. **Kudinov P., Grishchenko D., Konovalenko A., Karbojian A.** Premixing and steam explosion phenomena in the tests with stratified melt-coolant configuration and binary oxidic melt simulant materials. Nuclear Engineering and Design. 2017, Vol. 314, 182–197.

А В. Аванов студ; рук. К.Н. Проскуряков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ЧАСТОТУ АВТОКОЛЕБАНИЙ В РЕАКТОРЕ ВВЭР-1000

Цель данного исследования — рассмотреть реактор ВВЭР-1000, как сложный резонатор Гельмгольца, способный усиливать частоты автоколебаний давления теплоносителя в первом контуре АЭС и провести расчетную оценку влияния температуры теплоносителя на их частоту. Показано, что гидравлическая система реактора представляет собой цепь сочлененных между собой элементов различной сложности, которые в целом образуют звукопровод и, если неоднородности звукопровода меньше длины волны, то их можно рассматривать как акустические элементы с сосредоточенными параметрами, а весь звукопровод — состоящим из отрезков волноводов, имеющих участки с сосредоточенными параметрами.

В результате расчета частоты акустических автоколебаний, возникающих в реакторе с присоединенными трубопроводами холодной и горячей ниток, установлено, что их частоты зависят от числа учитываемых в расчете акустических элементов, содержащихся в подводящих и отводящих трубопроводах и температуры теплоносителя.

Приведенные результаты расчета частот автоколебаний указывают на доминирующее влияния температуры теплоносителя на их частоту. В работе [1] показано, что система акустических элементов реактора обладает свойствами, которые не могут быть получены простой суперпозицией акустических свойств составляющих ее элементов. Таким новым свойством — усиления и гашения определенных частот колебаний в оборудовании первого контура, обладает комбинация ядерного реактора с присоединенными к нему трубопроводами, образующими горячую и холодную нитки, представляющая собой сложный резонатор Гельмгольца, способный генерировать одновременно несколько самовозбуждающихся акустических стоячих волн.

Полученные результаты подтверждают работоспособность акустической модели реактора с трубопроводами холодной и горячей ниток как сложного резонатора Гельмгольца [2].

Литература

1. **Проскуряков К.Н**. Виброакустическая паспортизация АЭС — средство повышения их надежности и безопасности// Теплоэнергетика. 2005. №12. С. 30–34.
2. **Проскуряков К.Н.** Создание и верификация акустической модели ядерного реактора. Наукоемкие технологии / №4–2019 DOI 10.18127/j19998465-201904-07

Ю.А. Седова, Т.К. Зырянова, студенты;
рук. Т.А. Бокова к.т.н., доц. (НГТУ, Нижний Новгород)

ВЛИЯНИЕ ГАЗОНАСЫЩЕНИЯ НА СВОЙСТВА ТЯЖЕЛЫХ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ В ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И РЕАКТОРНЫХ КОНТУРАХ

В циркуляционном контуре с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями (ТЖМТ) необходимо решить задачу поддержания качества теплоносителя. Данная задача включает в себя поддержание заданного окислительно-восстановительного потенциала применительно к циркуляционным контурам [1]. Для поддержания заданного потенциала теплоносителя вводятся газы, за количеством введения которых должен осуществляться непрерывный контроль, для предотвращения превышения величины газонасыщения в контуре. Процесс газонасыщения контура с ТЖМТ мало изучен, исследования в данном направлении проводились лишь под определенные задачи.

Главная цель исследования — изучение влияния газонасыщения на свойства свинцового теплоносителя применительно к реакторным и исследовательским установкам с ТЖМТ [2]. Для реализации данной цели были проведены исследовательские испытания по определению напряжений при разрыве столба расплава свинца с различным газонасыщением, заключенного в вертикальную трубу конечного сечения, а также при фиксированных газонасыщениях в результате барботажа аргоном и водородом.

Исследования проводились на стенде ФТ2018-Р, смонтированном на базе кафедры «Атомные и тепловые станции» НГТУ. Полученные результаты являются отправной точной для дальнейших исследований, т.к. влияние подачи объема газа в контур жидкометаллического теплоносителя на его газонасыщение является одной из основных характеристик технологии теплоносителя.

Литература

1. **Безносов А.В., Драгунов Ю.Г., Рачков В.И.** Тяжелые жидкометаллические теплоносители в атомной энергетике, МОСКВА: ИздАТ — 2006;
2. **Журавлева О.Р.** Экспериментальное исследование влияния газонасыщения на свойства свинцового теплоносителя применительно к реакторной установке с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем: магистерская дис.: 13.04.01/ Журавлева Ольга Романовна — г. Н. Новгород, 2019.

Башар Салех, асп. (НИУ «МЭИ», НИЦ «КИ»);
рук. О.И. Мелихов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СТАЦИОНАРНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕТОНАЦИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОФАЗНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РАЗРЫВЕ ТРУБКИ ПАРОГЕНЕРАТОРА РЕАКТОРА БРЕСТ

В работе [1] с помощью метода адиабат Гюгонио был оценен энергетический потенциал взаимодействия расплавленного свинца с водой при аварии с разрывом трубки парогенератора реактора БРЕСТ. При этом уравнения сохранения массы, импульса и энергии для образующейся при разрыве многофазной смеси (расплавленный свинец, пар, вода) связывали начальные параметры смеси с параметрами в плоскости Чепмена-Жуге, что позволяло не описывать детальные механизмы силового и энергетического взаимодействия компонент смеси.

В настоящей работе выполнено развитие модели [1] для более детального описания реализующихся при разрыве процессов. Была сформулирована система стационарных дифференциальных уравнений сохранения массы, импульса и энергии для каждой компоненты смеси. Для описания процессов межфазного взаимодействия была разработана системы замыкающих соотношений, описывающих межфазное трение и теплообмен. Также учитывается сопротивление трубного пучка парогенератора течению многофазной смеси. В качестве граничного условия для интегрирования системы дифференциальных уравнений используются условия на ударном скачке давления (на пике Неймана), которые выражают сохранение массы, импульса и энергии в предположении постоянства температуры расплавленного свинца на скачке Неймана.

Для решения системы дифференциальных уравнений была разработана программа на языке FORTRAN, которая позволяет получать распределения давления, скоростей, температур и объемных долей фаз на участке от пика Неймана до плоскости Чепмена-Жуге. Также на плоскости «удельный объем смеси — давление смеси» строятся интегральные кривые, описывающие состояние смеси при перемещении от точки Неймана до плоскости Чепмена-Жуге.

Разработанная модель позволит оценить размеры зоны взаимодействия (свинец с водой) и его параметры при авариях с разрывом трубки парогенератора, что важно при анализе безопасности этих реакторов.

Литература

1. **Iskhakov A.S., Melikhov V.I., Melikhov O.I.** Hugoniot analysis of energetic molten lead-water interaction // Annals of Nuclear Energy, 2019.

Владимир В. Романов, Владислав В. Романов, асп.;
рук. М.М. Каверзнев, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ МОДУЛЬНОЙ МИНИ-АЭС ПОДВОДНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ

Мини-АЭС на основе малых модульных реакторов (Small Modular Reactor, SMR) в настоящее время рассматривается как энергоисточник с хорошей рыночной перспективой для удаленных районов и отдельных объектов [1].

В настоящей работе проведено сравнение двух вариантов двухконтурной модульной мини-АЭС подводного размещения на основе реактора на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем (т.н. «ядерная батарейка» [2]). В первом варианте в качестве второго контура выбран цикл Брайтона на сверхкритическом CO2 [3] с простейшей схемой регенерации, во втором варианте — сверхкритический цикл Ренкина.

В обоих случаях ядерная энергоустановка (ЯЭУ) представляет собой герметичный цилиндрический корпус, в котором размещены ядерный реактор, теплообменники, турбина с компрессором/насосами, электрогенератор и другое необходимое оборудование.

Согласно оценкам, кпд-нетто цикла Ренкина оказывается большим, нежели цикла Брайтона (41% против 26%), однако за это приходится «платить» примерно полуторакратным увеличением габаритов ЯЭУ.

Оценки подтверждают существенные преимущества по техническим характеристикам и безопасности рассмотренных вариантов ЯЭУ в сравнении с альтернативами [5], однако ставят серьезные вопросы в части ресурса турбинного оборудования, возможности безаварийной работы элементов установки, защиты корпуса и элементов от облучения и уменьшения наведенной активности и ряд других.

Литература

1. Small Modular Reactor. Сайт МАГАТЭ: https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors
2. **А.А. Виноградов.** Ядерная батарейка для Норильска, которая сделает порт Дудинка незамерзающим. PRoATOM. 2018.
3. **А.А. Виноградов.** Подводная ядерная электрогенерирующая установка — «Подводная мини-АЭС». PRoATOM. 2018.
4. **Lorenzo S., Carlo A., Andrea C.** On the adoption of carbon dioxide thermodynamic cycles for nuclear power conversion: A case study applied to Mochovce 3 Nuclear Power Plant. Elsevier paper. Applied Energy 181. 2016. 446–463.
5. First reactor on Russia's floating plant starts up./World Nuclear News, 05 November 2018. http://www.world-nuclear-news.org/Articles/First-reactor-on-Russia-s-floating-plant-starts-up

И. Афшар, асп.; рук. К.Н. Проскуряков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЁТА ЧАСТОТЫ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ТЕПЛОНОСИТЕЛЕ ГОРЯЧЕЙ ПЕТЛИ РЕАКТОРА ВВЭР

Опыт эксплуатации АЭС показывает, что поток жидкости вызывает колебания оборудования и его элементов. Эти процессы являются одними из основных факторов, определяющих динамические нагрузки на оборудование, срок его службы и надежность [1]. Горячая петля АЭС с ВВЭР включает в себя парогенератор и трубопроводы, соединяющие его с реактором и главным циркуляционным насосом. В результате турбулентности в потоке теплоносителя могут возникать пульсации давления и акустические волны. Уменьшение пульсаций давления теплоносителя является одним из способов предотвращения или подавления вибраций.

Метод расчета частоты акустических колебаний в теплоносителе горячей петли реактора ВВЭР основан на том, что теплоноситель, как и любой конструктивный элемент обладающий массой и упругостью, имеет собственные частоты колебаний, которые могут резонировать с источниками гидродинамических возмущений и вибрациями [2].

В данной работе представлена акустическая схема горячей петли реактора ВВЭР образованного акустическими элементами парогенератора с учетом присущих им тепло-гидравлических и геометрических параметров.

Методика расчета построена на использовании механической системы — груз, расположенный между двумя соединенными с ним и закрепленными по краям пружинами — и её электро-акустического аналога.

Показано, что результаты расчетов частот акустических колебаний в теплоносителе горячей петли близки к данными измерений, проведенных на реакторе ВВЭР в номинальном и пусковом режимах.

Представленные результаты исследований подтверждают правомерность и эффективность использования разработанной методики и новой колебательной модели теплоносителя в горячей петли реактора ВВЭР.

Литература

1. **Проскуряков К.Н**. Теплогидравлическое возбуждение колебаний теплоносителя во внутрикорпусных устройствах ЯЭУ / К.Н. Проскуряков // — М.: МЭИ, 67 с. 1984.
2. **Проскуряков К.Н.** Виброакустическая паспортизация АЭС — назревшая проблема ядерной энергетики. Теплоэнергетика, №12, С. 30–34, 2005.

E. Afshar, Ph. D. student; Supervisor: K.N. Proskuryakov,
Doctor of Science, Professor (NRU «MPEI»)

DEVELOPMENT OF CALCULATION METHOD FOR COOLANT ACOUSTIC OSCILLATION FREQUENCIES IN HOT LOOP OF VVER REACTOR

Experience in plant operation shows that the fluid flow causes vibrations of the equipment and its components. These processes are one of the main factors determining the dynamic loads on the equipment, its service life and reliability [1]. The hot loop of a nuclear power plant with VVER includes a steam generator and pipelines connecting it to the reactor and the main circulation pump. As a result of turbulence in the coolant flow, pressure pulsations and acoustic waves can occur. Reduction of pressure pulsations of the coolant is one of the ways to prevent or suppress vibrations.

The method of calculating the frequency of acoustic oscillations in the coolant of the hot loop of the VVER reactor is based on the fact that the coolant, like any structural element with mass and elasticity, has its own vibration frequencies that can resonate with sources of hydrodynamic disturbances and vibrations [2].

This paper presents an acoustic scheme of the hot loop of the VVER reactor formed by acoustic elements of the steam generator, taking into account their inherent heat-hydraulic and geometric parameters.

The calculation method is based on the use of a mechanical system; a mass, located between two springs connected to it and fixed at the edges — and its electro-acoustic analogue.

It is shown that the results of calculations of the frequencies of acoustic oscillations in the hot loop coolant are close to the data of measurements carried out at the VVER reactor in the nominal and start-up modes.

The presented research results confirm the validity and efficiency of the use of the developed technique and the new oscillatory model of the coolant in the hot loop of the VVER reactor.

References

1. **Proskuryakov K.N.** Thermohydraulic excitation of coolant oscillations in internal devices of nuclear power plant — M.: MEI, p. 67, 1984.
2. **Proskuryakov K.N**. Vibroacoustic certification of nuclear power plants-an urgent problem of nuclear energy. Heat Power Engineering, No. 12, Pp. 30–34, 2005.

Н.М. Григорьев, студент; рук. О.М. Митрохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРСПЕКТИВНАЯ ПАРОВАЯ ТУРБИНА ДЛЯ АЭС С РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ IV ПОКОЛЕНИЯ

В настоящее время ведутся исследовательские работы по созданию различных типов реакторов IV поколения, в том числе водоохлаждаемого реактора со сверхкритическими параметрами теплоносителя [1]. При этом требуется решение ряда принципиальных задач, которые связаны как с разработкой реактора ВВЭР-СКД, так и паротурбинной установки.

Отличительные особенности разработанной автором принципиальной тепловой схемы энергоблока АЭС мощностью 1200 МВт, особенности проточной части и низкое значение разделительного давления на уровне 0,27 МПа показали невозможность применения в качестве прототипа паровой турбины К-1200–23,5, используемой для традиционных паросиловых блоков на сверхкритические параметры пара, и, следовательно, для такого блока необходима разработка принципиально новой конструкции паровой турбины.

Вариантные расчеты проточной части паровой турбины, проведенные автором в ходе исследования, показали, что наиболее перспективным решением является турбина, состоящая из трех цилиндров: одного цилиндра с петлевым движением пара, включающего части высокого и среднего давлений, и двух двухпоточных цилиндров низкого давления.

Выполнение турбины всего с двумя цилиндрами низкого давления становится возможным за счет повышения пропускной способности последней ступени, выполненной с рабочей лопаткой длиной 1400 мм.

3D модель разработанной автором проточной части низкого давления представлена на рисунке 1.

Рис. 1. 3D модель проточной части низкого давления паровой турбины

Литература

1. **Абдулкадыров В.М., Богословская Г.П., Грабежная В.А.** Термодинамические циклы АЭС, работающих на сверхкритических параметрах воды // Ядерная энергетика. Известия вузов, вып. №4, 2012. — С. 85–91.

Е.А. Михушкина, А.Г. Зубков, студ.; рук. М.С. Алхутов, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ), Д.А. Олексюк, к.т.н. (НИЦ «Курчатовский институт», Москва)

ОБЗОРНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОНЦЕПЦИЙ РЕАКТОРОВ СКД

Вода как теплоноситель нашла широкое применение в тепловой и атомной энергетике. В настоящий момент в рамках международного форума Generation IV разрабатываются водоохлаждаемые реакторы следующего поколения со сверхкритическими параметрами теплоносителя. Их можно условно разделить на следующие базовые группы [1]:

- работающие на околокритических параметрах, имея температуру на выходе из активной зоны (АЗ) незначительно превышающую температуру t_m (температуру псевдофазового перехода (ПФП)) при заданном давлении в АЗ;
- работающие при около- и сверхкритических параметрах. Температура на выходе из АЗ таких реакторов значительно больше t_m ;
- работающие полностью в области выше ПФП.

Среди мировых разработок преобладает следующая конструкция — это одноконтурные прямоточные реакторы, работающие в области псевдофазового перехода и выше него. (CSR1000, SCWR-M, US SCWR, HPLWR, ВВЭР-СКД-1700) [2].

Высокий уровень температур и большой подогрев теплоносителя в АЗ приводит к многозаходной схеме циркуляции теплоносителя и сложным конструкциям ТВС, что вкупе со сложностью процессов теплоотдачи в области ПФП ставит вопросы по теплотехнической надежности АЗ. Для ответа на эти вопросы необходимо проведение экспериментов.

По результатам анализа основных параметров и конструкций АЗ современных проектов СКД реакторов, а так же специфики теплообмена, предложены направления исследований и требования к проведению серии экспериментов, а так же выполнены оценки основных параметров экспериментального стенда для моделирования теплогидравлических процессов в активной зоне СКД реактора.

Литература

1. **Седов А.А.** Потенциал и проблемы использования водяного теплоносителя сверхкритических параметров в реакторных установках. //Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики: Тезисы 11 междунар. Науч.-техн. конф. Москва: Росэнергоатом, 2018. С 496–502.
2. **Schulenberg T., Leung L.** Super-critical water-cooled reactors //Handbook of Generation IV Nuclear Reactors. Woodhead Publishing, 2016. C. 189–220.

Ю.В. Бондаренко, асп.; Елизаров Д.В., студ.;
рук-ль М.М. Каверзнев, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПТУ И НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЧАСТИ АЭС НА ОСНОВЕ ПОДХОДОВ COST ESTIMATING

Для АЭС с реакторами типа ВВЭР около половины полной стоимости приходится на неядерную теплотехническую часть: паротурбинную установку (ПТУ), систему техводоснабжения и другие элементы. Обоснованный выбор характеристик этих элементов является существенным для повышения технико-экономических показателей АЭС.

В настоящей работе были выполнены оптимизационные оценки низкопотенциальной части АЭС на примере энергоблока ВВЭР-1200 для различного давления в конденсаторе турбины, определяющего состав ПТУ, ее массогабаритные характеристики и влияющего на остальные элементы низкопотенциальной и строительной части станции [1,2].

Стоимостные оценки выполнены с использованием подходов Cost Estimating [3], активно используемых при анализе АЭС 4-го поколения [4] и позволяющими в ряде случаев избежать трудоемких инженерных расчетов. Оценки выполнены с учетом реального состава и стоимостей оборудования паротурбинной установки, конденсатора и конечного охладителя. Ряд методик оценки затрат для конкретных видов оборудования был доработан для целей данного исследования.

Как показывают результаты оценки, «погоня» за КПД не всегда является обоснованной, позволяя, при разумных ограничениях получить выигрыш по капитальным затратам порядка 10% для энергоблока ВВЭР-1200.

Работа также выявила ряд вопросов в части отсутствия простых и достаточно точных аналитических зависимостей, и инженерных методик моделирования затрат на строительную часть, охладитель (градирни) и ряд других.

Результаты работы могут представлять интерес для проектно-конструкторских организаций с точки зрения оптимизации состава и параметров оборудования энергоблоков АЭС.

Литература.

1. **Ю.Ф. Косяк.** Паротурбинные установки атомных электростанций. М.: Издательство Энергия, 1978.
2. **Т.В. Богомолова.** Последние ступени. М.: Издательство МЭИ, 2007.
3. Cost estimating guidelines for generation IV nuclear energy systems. Revision 4.2. September 26, 2007. Printed by the OECD Nuclear Energy Agency for the Generation IV International Forum. — 181p.
4. Generation IV International Forum (GIF). https://www.gen-4.org

О.В. Лазаренко, студ.; рук. С.Е. Щеклеин, д.т.н., проф. (УрФУ, Екатеринбург)

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ АВАРИЙНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

Система аварийного расхолаживания реактора (САРХ) предназначена для отвода остаточных тепловыделений от активной зоны к конечному поглотителю (атмосферному воздуху) при отсутствии возможности выполнения этой функции системами нормальной эксплуатации (через третий контур) в аварийных режимах. В работе проанализирована эволюция систем аварийного отвода тепла (САОТ) существующих РУ БН-600 и БН-800 и проектируемой РУ БН-1200 [1,2].

САРХ БН-600 была реализована в рамках продления срока эксплуатации. Расхолаживание реактора осуществляется при естественной циркуляции натрия по 1 контуру, принудительной циркуляции натрия по части 2 контура, с использованием электромагнитного насоса (ЭМН), и принудительном охлаждении воздушным теплообменником (ВТО) воздухом с помощью газодувки. САРХ-ВТО представляет собой дополнительную автономную натриевую петлю, подключенную к ПТО петли №5 РУ БН-600, которая позволяет осуществлять циркуляцию натрия второго контура через этот ПТО и теплоотвод воздухом в атмосферу.

САРХ БН-800 предусмотрена проектом. Кроме прямого назначения, САРХ используется также для отвода остаточных тепловыделений от остановленного реактора на конечном этапе расхолаживания.

САОТ БН-1200 функционирует как пассивная, при естественной циркуляции натрия через встроенные в бак реактора теплообменники и воздуха через теплообменники (ВТО). Установка БН-1200 имеет четыре автономные петли САОТ. Каждая петля САОТ является независимым каналом безопасности. Естественная циркуляция натрия 1 и 2 контуров через АТО в петле САОТ происходит вследствие разности отметок расположения «АТО — активная зона» и «АТО — ВТО» соответственно.

Таким образом, развитие систем аварийного отвода тепла от активных зон реакторов на быстрых нейтронах позволило создать в проекте БН- 1200 полностью энергонезависимую (пассивную) систему.

Литература

1. **Бельтюков А.И., Карпенко А.И., Полуяктов С.А., Ташлыков О.Л., Титов Г.П., Тучков А.М., Щеклеин С.Е.** Атомные электростанции с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. Екатеринбург, УрФУ, 2013. Том 2. — 420 с.
2. Системы безопасности: окончательный отчет по обоснованию безопасности энергоблока №4 Белоярской АЭС; т. 12, кн. 1, ОКБМ — Н. Новгород, 2013. — 198 с.

А.Ю. Локоть, студ.; рук. В.А. Горбунов, д.т.н., доц.; (ИГЭУ, г. Иваново)

ВЕРИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТВЭЛА В СРЕДЕ COMSOL MULTIPHYSICS ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

Надежность и безопасность работы активной зоны ядерного реактора на прямую зависит от правильности расчета теплового режима ТВЭЛа. Задачу отвода тепла к теплоносителю от ТВЭЛа можно решить, как аналитически, так и численно. Для расчета температурного поля используется программный пакет Comsol Multiphysics. Трёхмерная моделью ТВЭЛа — цилиндр высотой 3,73 метра и радиусом 3,8 мм. Коэффициент теплоотдачи α взят как функция от температуры теплоносителя в диапазоне от 10324 до 53190 Вт/ (м^2•К). Распределение внутренних источников теплоты косинусоидальное и зависит от местоположения ТВЭЛа в реакторе. Сетка 3D модели ТВЭЛа имеет 140 узлов. Для вытяжки объекта используется экструзия с разбиением по высоте на 5 элементарных уровней. В качестве упрощения циркониевая оболочка в ТВЭЛе не учитывается. Данные численного эксперимента на модели ТВЭЛа сравниваются с экспериментальными данными, полученными на АЭС.

Постановка задачи:

1) Начальное температурное поле ТВЭЛа принималось равное температуре 592 К.

2) Граничное условие 2-го рода на торцах q (r, z, t) =0.

3) Граничное условие по окружности на боковой поверхности 3-го рода

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) = \alpha \left(T_п - T_в\right).$$

Для модели ТВЭЛа рассчитаны значения температуры на выходе и средний подогрев теплоносителя в кассетах при мощности реактора 70% и 90% от Nном для ТВС разного обогащения топлива с различным удалением от центра активной зоны.

Численное решение по сравнению с данными эксперимента имеет погрешность 1–2%.

Литература

1. **В.А. Горбунов, Н.Б. Иванова, Н.А. Лоншаков, Я.В. Белов.** Разработка модели по определению температурного поля ТВЭЛа в двумерной постановке задачи. // Моделирование процессов в объектах ядерной энергетики. Ядерная энергетика. — 2019. — №2. — С. 174–184.

Н.П. Сивцева, студ.; Г.А. Игнатьева, асп.;
рук. В.Е. Степанов, д.ф.-м. н., доц. (СВФУ, г. Якутск)

ИЗМЕРЕНИЕ СОДЕРЖАНИЙ РАДОНА И ТРИТИЯ В ДРЕНАЖНЫХ РАССОЛАХ АЛМАЗОНОСНОЙ ТРУБКИ «УДАЧНАЯ»

На месторождении трубка «Удачная» кимберлиты добывают в шахте рудника «Удачный» на глубине 500 метров. В шахту поступают напорные дренажные рассолы с минерализованностью 400–500 г/л. В 3-х км от шахты расположена скважина подземного ядерного взрыва «Кристалл» произведенного 1974 г на глубине 90 м. В целях изучения возможности переноса радионуклидов от полости ядерного взрыва «Кристалл» измерены пробы рассолов из шахты рудника «Удачный». Содержания радона и трития в пробах измерялись на жидкостном сцинтилляционном спектрометре Hidex SL-300. Содержания ^{226}Ra, активность которого совпадает с начальной активностью ^{222}Rn в соответствии с законом векового равновесия, измеряли в фильтрованных рассолах. Для определения содержания трития навеска рассолах перегонялась на дистилляторе. В дистилляте содержание радона уменьшалось в 2 раза по истечении 4 суток по закону распада радона и через 10 дней оставалась активность трития.

В результате исследования подтвержден полученный ранее вывод [1] об отсутствии переноса нуклидов из полости ядерного взрыва «Кристалл» в шахту рудника «Удачный». Установлено, что не существует миграции искусственных радионуклидов типа ^{239}Pu, ^{241}Am, ^{137}Cs, ^{90}Sr. Найдены активности в рассолах: радон — 100–200 Бк/л, тритий — 15–20 Бк/л. Содержание Ra^{226} в рассолах составляет $5{,}54 \cdot 10^{-9}$г/л, что равно с активностью радия в ваннах, используемых в радоновых лечебницах. Таким образом можно создать генераторы радона для применения в медицине и ветеринарии.

Применением низкотемпературного и криогенного концентрирования радия и радона [2] из рассолов можно получить содержания, применимые для добычи радия из подземных рассолов и использования в ядерных реакторах атомных станций малой мощности.

Литература

1. **Степанов В.Е., Игнатьева Г.А., Осипов В.Ю., Далбаева Е.А.** Исследование проблемы дальней миграции трития из полости подземного ядерного взрыва «Кристалл» // Радиохимия. 2017. Т. 59. №3.
2. **Степанов В.Е., Христофорова С.Е.** Патент РФ RU 175480 U1, 30.06.2017. Криогенный концентратор радона. // Опубликовано: 07.12.2017 Бюл. №34

И.И. Ботенов, студ.; рук. В.К. Семенов, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ БЫСТРЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВВОДЕ В РЕАКТОР ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ РЕАКТИВНОСТИ (ПУЗЫРЬ «ЧИСТОГО» КОНДЕНСАТА)

В работе рассмотрена ситуация, когда из ГЦН в реактор идёт пузырь «чистого» конденсата в борированной воде. По ходу пузырь частично рассасывается за счет турбулентной диффузии. Войдя в реактор, пузырь перемешивается с борированной водой, снижая концентрацию бора и уменьшая эффективность кластеров 10-ой группы [1]. Реактивность нижней половины ядерного реактора возрастает, это выводит реактор из стационарного состояния. В результате происходит разгон реактора, и возникают ксеноновые колебания. Возникшая ситуация опасна тем, что может произойти локальный перегрев оболочек ТВЭЛов в месте прохода пузыря. Локальный перегрев активной зоны может возникнуть даже в том месте, где концентрация борной кислоты не изменилась. Это связано с ксеноновыми колебаниями [1], вызванными попаданием пузыря в активную зону. Актуальность работы состоит в том, что все вышеназванные аспекты могут привести к пусковой аварии, следовательно, к большим экономическим потерям. Работа реализована следующим образом. В среде COMSOL Multiphysics создана имитационная модель турбулентной диффузии пузыря «чистого» конденсата при его транспортировке по трубопроводу от ГЦН до ядерного реактора, а также при его движении по активной зоне. На основании имитационной модели определено значение концентрации борной кислоты в пузыре, в момент его попадания в активную зону, полученные результаты во многом сходятся с экспериментальными данными, полученными на стендах ОКБ «Гидропресс» [2]. Определена функциональная зависимость концентрации борной кислоты от времени нахождения пузыря в активной зоне. Полученная зависимость интегрирована в программу Mathcad, где реализована модель двухточечного реактора, предназначенная для исследования динамики связанных реакторов с учётом обмена нейтронными потоками и ксеноновых колебаний. В результате: эксплуатация реактора безопасна при объёме пузыря не более 18 м^3.

Литература

1. **Семенов В.К**. Кинетика и регулирование ядерных реакторов: Учеб. пособие / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». — Иваново, 2009. — 144 с.
2. Анализ безопасности режима с пробкой чистого конденсата при пуске ГЦН. — 464-Пр-040 / ЗАО «НПО «Гидропресс». — Подольск, 2009. — 51 с.

И.Н. Макаров, студ.; рук. В.Г. Работаев, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭБ АЭС

Технологическая система энергетического блока (ЭБ) атомной электрической станции состоит из различного типа аппаратов, трубопроводов и нагнетательной установки, в которой может быть один или несколько соединенных параллельно или последовательно насосов [1].

Зачастую в процессе обучения данная тема сопровождается большими расчетами, занимающими большую часть выделенного на изучение темы времени. Поэтому было принято решение создать программу, которая позволит студентам более глубоко разобраться в принципах совместной работы нескольких насосов на единую сеть, значительно сократив рутинную часть (расчеты). При этом весь процесс, начиная от моделирования схемы и заканчивая выводом результатов, будет наглядным.

Напорные характеристики насосов и характеристика сети в математической модели стенда представляются многочленом второго порядка. В результате совместного решения характеристик сети и группы насосов вычисляются параметры системы. С помощью программы можно создавать схемы соединений нескольких насосных агрегатов (до 18), что дает возможность моделировать большинство реальных технологических систем. Предусмотрен конструктор схем, позволяющих создавать и корректировать способы соединения насосов. Схему можно собирать из 15 различных типов насосов, напорные характеристики которых заложены в программу, и некоторого виртуального насоса.

В итоге компьютерный лабораторный стенд способен решать следующие задачи: предложить оптимальный выбор насосов и их число (из имеющихся в базе 15 типов насосов) для повышения КПД тепловой схемы, а также произвести расчет трубопровода любой сложности, с последующим выводом результатов расчета в графическом и текстовом виде.

Программа разрабатывается на языке Java в среде IntelliJ IDEA (т.е. позволяет создать программу с графическим интерфейсом, а также дает возможность реализовать идею графического конструктора схем соединений нескольких насосных агрегатов).

Литература

1. **Марцинковский, В.А.** Насосы атомных электростанций/ В.А. Марцинковский, П.Н. Ворона. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 256 с.

В.Э. Беляева, асп.; рук. М.М. Каверзнев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ЗАМКНУТОГО ЯТЦ

Одной из ключевых целей, стоящих перед мировым сообществом, являются энергетическая безопасность и устойчивое развитие, признанную роль в достижении которых играет ядерная энергетика [1]. Для отечественной атомной энергетики практической задачей развития становится переход на замкнутые ядерные топливные циклы (ЯТЦ) с приемлемыми технико-экономическими параметрами, одним из вариантов которого является двухкомпонентный замкнутый ЯТЦ (2К-ЗТЦ) [2].

Оценка и сравнение ядерных энергетических систем является крайне сложной задачей, для решения которой созданы специальные экспертные сообщества [3], призванные разработать методологию оценок и технические средства. Однако для практических целей сохраняется необходимость в достаточно простых моделях, удобных для решения оптимизационных задач экономики ЯТЦ.

С этой целью была разработана математическая модель оценки различных ЯТЦ, в которой в качестве одного из основных критериев оценки использована приведенная стоимость электроэнергии (Levelized Cost of Electricity, LCOE), определяемая с учетом всего технологического цикла производства электроэнергии и всего жизненного цикла его объектов.

Были рассмотрены следующие варианты топливных циклов:

— разомкнутые на базе ВВЭР и БН;

— замкнутые моно-системы (на одном типе реакторов) на базе ВВЭР и БН с использованием МОКС-топлива;

— замкнутый двухкомпонентный на базе ВВЭР и БН с использованием МОКС-топлива (2К-ЗТЦ).

Выполненные оценки показали, что вариант 2К-ЗТЦ позволяет достичь экономических показателей замыкания цикла лучших, нежели любой из рассмотренных вариантов моно-системы на основе одного типа реакторов и приблизиться к решению задачи экономически оправданного замыкания ЯТЦ.

Литература

1. **Яверт Н., Гашпар М.** Цели в области устойчивого развития и МАГАТЭ. Бюллетень МАГАТЭ, сентябрь 2016 года. — 36с.
2. **Пономарев-Степной Н.Н. и др.** Перспективы развития и внедрения замкнутого ядерного топливного цикла. — Доклад на IX Международной научно-технической конференции ОАО «Концерн Росэнергоатом» (МНТК-2014). — 24с.
3. The Generation IV International Forum (GIF) https://www.gen-4.org/gif

Секция 40.
ПРОБЛЕМЫ ТЕРМОЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Председатель секции — Дедов Алексей Викторович
Секретарь секции — Лубенченко Александр Владимирович

Р.С. Чеботарев, асп. (НИУ «МЭИ»),
рук. А.В. Тимофеев д.ф.-м.н., г.н.с. (НИЦ «Курчатовский институт»)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЦР-НАГРЕВА СТОЛБА ПЛАЗМЫ В НЕОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В ряде применений плазмы ионный циклотронный резонансный нагрев (ИЦР-нагрев) играет ключевую роль. Так, например, планируется или уже реализовано его использование в плазменной переработке отработавшего ядерного топлива, ИЦР-разделении изотопов, а также в плазменном двигателе VASIMR. В связи с явлением альфвеновского резонанса альфвеновские колебания, используемые для нагрева ионов, трансформируются в нижнегибридные, в результате чего может происходить преимущественно нагрев электронов, но не ионов.

Последовательный анализ ИЦР-нагрева, таким образом, должен быть двумерным — необходимо учитывать как продольную неоднородность магнитного поля, инициирующую локальный ИЦР-нагрев, так и поперечную неоднородность плотности плазмы, предопределяющую явление альфвеновского резонанса.

В известных работах рассмотрены только отдельные взаимоисключающие приближения продольной неоднородности поля при поперечной однородности плотности, и наоборот [1,2], либо в связи с вытянутостью системы вдоль поля продольная неоднородность учитывается параметрически в рамках квазиклассического подхода.

В работе предпринимается попытка рассмотрения модели, учитывающей неоднородность в обоих направлениях. Предварительно рассмотрена одномерная задача, результаты решения согласуются с более ранними работами. Получена система двух дифференциальных уравнений второго порядка, описывающая ИЦР-нагрев в дважды неоднородном случае, построены разностные схемы для соответствующей краевой задачи, составлена и реализована процедура её решения. Установлено, что СЛАУ, возникающая при дискретизации задачи, обладает большим числом обусловленности, а её решение может быть сильно неустойчивым. Обсуждаются возможные варианты постановки граничных условий и намечаются пути дальнейшего решения задачи.

Литература

1. **Bering E.A.** et al. Observations of Single-Pass Ion Cyclotron Heating on a Trans-Sonic Flowing Plasma // Phys. of Plasmas. 2010. V. 17. No. 4.
1. **Тимофеев А.В.** О ВЧ-нагреве неоднородной столкновительной плазмы в условиях ИЦР // Физика плазмы. 2015. Т. 41, №11.

А.С. Полюхин, студ.; рук-ли С.В. Рыжков, д.ф.-м.н., проф.;
В.В. Кузенов, д.ф.-м.н., проф. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛАЗМЫ ПРИ УЧЕТЕ КВАНТОВО-ОБМЕННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Благодаря интенсивному развитию сферы управляемого термоядерного синтеза широкое распространение получили задачи по определению различных свойств высокотемпературной плазмы. Данная работа посвящена определению основных термодинамических свойств плазмы, таких как давление, энтропия и внутренняя энергия. Вычисления производились на основе модели Томаса-Ферми [1–2] при учете квантово-обменных поправок, основанных на разложении электронной концентрации из исходной теории в ряд по коммутаторам [3] и возникающих при квантовом описании системы. Хотя существуют работы, основанные на схожем подходе [4], интерес автора данной работы связан с так называемым магнитным инерционным термоядерным синтезом и соответственно с учетом влияний магнитных полей на термодинамические свойства плазмы. Автором работы был разработан и реализован новый численный алгоритм определения потенциала Томаса-Ферми с поправкой, а достоверность расчётов обусловлена сравнением с известными литературными данными [5]. Полученные в работе результаты могут быть в дальнейшем использованы для изучения динамических процессов в термоядерных системах [6].

Литература

1. **Кузенов В.В., Рыжков С.В., Шумаев В.В.** Определение термодинамических свойств замагниченной плазмы на основе модели Томаса — Ферми // Прикладная физика. 2014. №3. С. 22–25.
2. **Калиткин Н.Н., Луцкий К.И.** Широкодиапазонное уравнение состояния газовой и жидкой плазмы // Математическое моделирование. 2015. №27 (4). С. 33–34.
3. **Никифоров А.Ф., Новиков В.Г., Уваров В.Б.** Квантово-статистические модели высокотемпературной плазмы и методы расчета росселандовых пробегов и уравнений состояния. М.: Физматлит, 2000. 21 с.
4. База данных ТЕФИС. Термодинамические свойства веществ / А.А. Белов [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2018. №219. 20 с. doi:10.20948/prepr-2018–219 URL: http://library.keldysh.ru/preprint. asp?id=2018–219
5. Дьячков С.А. Квазиклассическая модель термодинамических свойств электронов с учетом состояний дискретного спектра и область ее применимости: дис….канд. физ.-мат. наук. Москва. 2018. 138 с.
6. **Kuzenov V.V., Ryzhkov S.V., Shumaev V.V.** Numerical thermodynamic analysis of alloys for plasma electronics and advanced technologies // Problems of Atomic Science and Technology. 2015. No. 4 (98). P. 53–56.

В.А. Ячук, Д.С. Лукьянцев, студенты;
рук. А.В. Лубенченко, проф. (НИУ «МЭИ»)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ФОТОЭЛЕКТРОННЫХ СПЕКТРОВ ОТ ОДНОРОДНЫХ И НЕОДНОРОДНЫХ МИШЕНЕЙ

В настоящее время один из самых распространённых методов анализа поверхности — рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Поэтому наибольший интерес представляет имитационное моделирование спектров, полученных при использовании РФЭС [1]. В работе использовались плёнки из ниобия, потому что этот элемент широко используется в сверхпроводниках [2].

Основная цель данной работы — это создание алгоритма, включающего в себя метод Монте-Карло, который способен адекватно моделировать спектры энергетических потерь. Чтобы смоделировать реальный процесс необходимо учитывать большое количество его физических особенностей, поэтому моделирование является не простой задачей.

Была предложена модель учета многократного неупрого рассеяния. Индикатрисы неупругого рассеяния рассчитывались по методике, предложенной в [3].

Для моделирования спектра энергетических потерь от РФЭС необходим учет различных факторов исследуемой среды. Характеристики рассеяния как упругого, так и неупругого, а также их отличия друг от друга в разных элементах. Отличие рассеивающих свойств вещества, находящегося в объемной фазе и в поверхностной. Учет спин-орбитального взаимодействия, вследствие которого возникает дублетность пиков. Движение частицы в различных слоях.

Эти особенности учитываются в разработанном алгоритме.

В результате моделирования с помощью разработанного алгоритма был построен спектр энергетических потерь от многослойной мишени, который описывает спектр из реального эксперимента.

Литература

1. **Lubenchenko A.V**. et al. XPS study of multilayer multicomponent films //Applied Surface Science. — 2018. — Т. 427. — С. 711–721.
2. **Meledin D**. et al. // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2009. V. 57, 1. P. 89.
3. **Afanas'ev V**. et al.// Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. — 2010. — Т. 74. — №2. — С. 170.

Д.С. Лукьянцев, В.А. Ячук, студенты;
рук-ли А.В. Лубенченко, д.т.н.; Д.А. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ УЛЬТРАТОНКИХ ПЛЁНОК НИОБИЯ И НИТРИДА НИОБИЯ НА ТОЛЩИНУ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОКСИДНЫХ СЛОЁВ

Ультратонкие плёнки ниобия и нитрида ниобия (его соединений) пользуются большой популярностью в различных электронных устройствах [1].

При взаимодействии с окружающей средой ниобий подвержен окислению. На поверхности ультратонкой плёнки образуются слои различных толщин разных оксидов, например, Nb_2O_5. Этот оксид является диэлектриком, присутствие которого приводит к резкому уменьшению проводимости, что ухудшает основные характеристики приёмного электронного устройства. Следует отметить, что оксиды ниобия представляют собой сложные слои с многочисленными фазами [2].

Знания о фазовой структуре и толщине поверхностных оксидных слоёв при различных толщинах мишени являются необходимыми для качественной эксплуатации устройств. Существуют работы с подобными исследованиями толстых плёнок, состоящих из других компонентов [3].

В данной работе проводились исследования ультратонких плёнок из *Nb* и *NbN*, толщины которых составляли 5, 11, 52, 68 и 100 нм. Анализ плёнок проводился неразрушающим методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) на высоковакуумном аналитическом комплексе электронно-ионной спектроскопии на базе платформы Нанофаб-25. Для обработки фотоэлектронных спектров мишеней применялся метод вычитания фона, разработанный с учетом различий потерь энергии на поверхности и в объёме. Также выполнялось разложение фотоэлектронных линий элементов на парциальные пики при помощи параметров профилей линий по данным Handbook of X-Ray Photoelectron [4].

В результате анализа плёнок были установлены зависимости толщины слоёв оксидов от толщины мишеней различных элементов и получены послойные профили элементов.

Список литературы

1. **Ю. Вахтомин, С. Масленников, Г. Гольцман, М. Финкель, Н. Каурова, и С. Антипов**, Терагерцовые смесители на эффекте электронного разогрева в ультратонких плёнках NbN и NbTiN. Litres, 2015.
2. **C. Nico et al.**, Prog. Mater. Sci. 80, 1 (2016).
3. **D.N. G. Krishna, R.P. George, и J. Philip**, «Determination of nanoscale titanium oxide thin film phase composition using X-ray photoelectron spectroscopy valence band analysis», Thin Solid Films, т. 681, сс. 58–68, 2019.
4. **A.V. Lubenchenko и др.**, «XPS Study of Niobium and Niobium-Nitride Nanofilms», Journal of Surface Investigation, т. 12, вып. 4, сс. 692–700, 2018.

К.А. Рогозин, А.А. Коньков, студенты;
рук. С.Д. Федорович, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ИСПЫТАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ НИЗКОЧАСТОТНЫМ РАЗРЯДОМ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Основным требованием к поверхностям полимерных материалов перед нанесением различных лакокрасочных покрытий и клеев, является высокая смачиваемость, которая обеспечивает хорошую адгезию. Основные существующие методы увеличения смачиваемости основаны либо на химической обработке, либо на обработке коронным разрядом, который позволяет работать только с листовыми материалами [1,2].

Для обработки поверхностей сложных форм предлагается использование низкочастотного разряда атмосферного давления, получаемого в разработанном и изготовленном плазмотроне специальной конструкции [3] со следующими параметрами: потребляемая мощность 400 Вт, напряжение разряда 15 кВ, ток разряда 10 мА, частота 80 кГц, рабочий газ — воздух, аргон, и различные смеси, в зависимости от обрабатываемого материала. Малые габариты и высокая мобильность плазмотрона позволяют производить обработку поверхностей материалов любых размеров и форм, удерживая плазмотрон в руках.

Получены данные об уменьшении краевого угла смачивания после обработки плазмой поверхностей поливинилхлорида (ПВХ), акрилонитрила бутадиена стирола (АБС), Полиэтилентерефталата (ПЭТ), слоя алкидного лака. Получен и обработан спектр разряда плазмотрона, где рабочим газом являлся воздух.

Дальнейшие работы по совершенствованию разрядной камеры и источника питания плазмотрона будут проводиться с целью обработки металлических, керамических и стеклянных поверхностей.

Литература.

1. **Strobel, M.; Walzak, M. J.; Hill, J. M.; Lin, M.; Karbashewski, E.; Lyons, C.S. In** Polymer Surface Modification: Relevance to Adhesion; Mittal, K. L., Ed.; VSP: Zeist, The Netherlands, 1994, p. 233.
2. **Boenig, H.V.** Plasma Science and Technology; Cornell University Press: Ithaca, NY, 1982.
3. **K.A. Rogosin, A.A. Kon'kov;** Compact plasmatron with diverging rod electrodes, J. of Phys.: Conf. Ser. 2019, vol. 1370, p. 012037.

А.А. Коньков, К.А. Рогозин, студенты;
рук. В.П. Будаев, д.ф-м.н, проф. (НИУ МЭИ)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ЛИТИЯ СТАЦИОНАРНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ МЕГАВАТТНОГО МАСШТАБА

Важной проблемой термоядерного реактора является взаимодействие плазмы с поверхностью конструкционных материалов. Данный процесс до конца не изучен, однако известно, что он сопровождается изменением свойств поверхностного слоя, а при некоторых стационарных режимах, формированием наноструктур микронного масштаба. Одним из возможных решений данной проблемы является применение самовосстанавливающейся жидкометаллической поверхности на основе капиллярно-пористой системы (КПС) [1].

На установке ПЛМ [2] были проведены исследования образца в виде молибденовой сетки диаметром 30 мм, заполненной литием. Параметры эксперимента: плазмообразующий газ — гелий, время экспозиции 200 минут, электронная температура 2–4 эВ, плотность плазмы 5×10^{12} cm^{-3}. Тепловая нагрузка на образец составляла от 0.1 до 1 МВт/м^2. Нагрев КПС обеспечивался электронным потоком из плазмы путем подачи напряжения от –100 В до +40 В.

В ходе экспериментов была подтверждена устойчивость материала сетки к стационарной плазменной нагрузке. Была проведена диагностика методами оптической спектрометрии и микроскопии. Анализ спектров излучения плазмы показал отсутствие пиков интенсивности молибдена, на фотографиях высокого разрешения не обнаружено следов рекристаллизации, коррозии от взаимодействия с литием, иных повреждений. Можно сделать вывод о том, что капиллярно-пористая система на основе лития успешно прошла испытание стационарной плазменной нагрузкой.

Литература.

1. **И.Е. Люблинский и др.** ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2015. Т. 38.1.7.
1. **В.П. Будаев и др.** ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2017. Т. 40.3. 23.

З.А. Заклецкий, студ.; рук. В.П. Будаев, д.ф-м.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИОННЫХ СВОЙСТВ ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ ПОСЛЕ МОЩНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ В УСТАНОВКЕ ПЛМ

После экспериментальной кампании токамака Т-10 на поверхности защитных элементов первой стенки были обнаружены следы дуг и искр, в областях с наиболее развитой структурой поверхности [1].

При обработке вольфрамовых образцов на установке ПЛМ формируется стохастическая наноструктурированная поверхность типа «пух» с волокнами диаметром 20–50 нм, рис. 1. При экспозиции в плазме в течении ~200 минут на поверхности вольфрама формируется слой пуха толщиной около 1,5 микрометров [2].

Модель [3] объясняет образования пуха на поверхности вольфрама при облучении его в гелиевой плазме ростом волосков пуха из адатомов, образующихся при бомбардировке ионами гелия.

Поверхность типа «пух» обладает улучшенными эмиссионными свойствами. Как известно, нарушения структуры поверхности, такие как микровыступы, волоски, края кратеров создают эмиссионные центры, результатом которых могу служить процессы, приводящие к электрическому пробою и инициировании дуги на поверхности материалов, обращенных к плазме. Поэтому необходимо провести расчет тока электронной эмиссии для исследования процессов дугообразования на модифицированной вольфрамовой поверхности в плазменном разряде.

В работе оценены параметры эмиссионных свойств вольфрама при различной степени шероховатости. Приведены оценки влияния модификации вольфрамовой поверхности на эффекты дуговой эрозии для дивертора в международном токамаке ИТЭР.

Литература

1. **Будаев В.П.** Результаты испытаний вольфрамовых мишеней дивертора при мощных плазменно-тепловых нагрузках, ожидаемых в ИТЭР и токамаках реакторного масштаба. — ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2015, т. 38, вып. 4, с. 5–31.
2. **Будаев В.П., Федорович С.Д., Лукашевский М.В., Мартыненко Ю.В.**, Плазменная установка НИУ «МЭИ» для испытаний тугоплавких металлов и создания высокопористых материалов нового поколения. — ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2017, т. 40, вып. 3, с. 23–36.
3. **Martynenko Y.V., Nagel M.Y.** «Model of fuzz formation on a tungsten surface» Plasma Physics Reports. 2012. Т. 38. №12. С. 996–999.

Секция 41.
ТЕПЛОФИЗИКА

Председатель секции — Синкевич Олег Арсеньевич
Секретарь секции — Глазков Василий Валентинович

Ильюхин А.А., студент; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЛКНОВЕНИЯ СТРУИ ЖИДКОСТИ С НАГРЕТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Столкновение струи с поверхностью весьма часто случается или намеренно используется в современной технике. Это может быть как гидроабразивная резка, так и один из способов охлаждения поверхности.

В ходе исследования на экспериментальной установке изучалось столкновение струи жидкости с поверхностью, имеющей различную температуру, текстуру и пространственное положение. Скорость исследуемых водяных струй варьировалась в диапазоне 1–12 м/с, струи образовывались при помощи капилляров различного диаметра. Представлены результаты, полученные в экспериментах по столкновения струй с поверхностями, нагретыми до высокой температуры, в том числе и выше критической температуры жидкости. Определено влияние типа поверхности и температурного фактора на характер взаимодействия струи с поверхностями. Обнаружен эффект захвата струи нагретой шероховатой поверхностью. Данное явление заключается в прилипании струи к поверхности, нагретой выше температуры Лейденфроста. Эффект обнаружен в широком диапазоне скоростей струи при столкновении под различными углами. Получены безразмерные критерии, описывающие данное явление. Проведено сравнение с имеющимися теоретическими зависимостями [1] и данными других авторов [2]. Обсуждаются возможные технические применения данного эффекта.

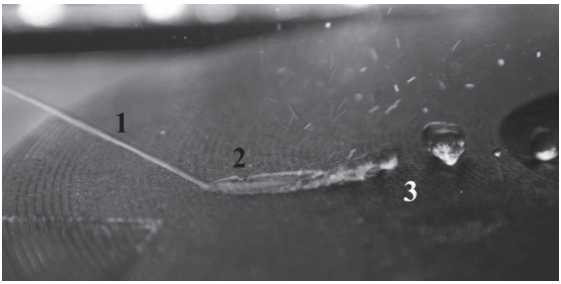


Рис. 1. Столкновение струи с шероховатой поверхностью. 1 — струя образованная на капилляре Ø 0.4 мм, 2 — место столкновения с поверхностью, 3 — хвостовое удержание жидкости. Температура поверхности: 300 °C.

Литература

1. **Лабунцов Д.А., Ягов В.В.** Механика двухфазных систем. М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
2. **Исаченко В.П., Кушнырев В.И.** Струйное охлаждение. М.: Энергоатомиздат, 1984, 216с., пл.

А.Н. Сорокин, студ.; рук. Е.И. Юрин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОЙ РАЗМЕРНОСТИ ДЛЯ УЧЕТА ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ТЕПЛООБМЕННИКЕ

В энергоустановках, использующих жидкометаллические теплоносители, необходимо производить анализ сценариев, приводящих к заморозке теплоносителя [1]. Для анализа безопасности и моделирования в реальном времени реакторных установок используются быстрые одномерные коды.

В разрабатываемом коде уравнение энергии разрешается в переменных энтальпии, что естественным образом позволяет учитывать заморозку теплоносителя вдоль канала (энтальпийный метод решения задачи Стефана [2]).

Для учета наморозки теплоносителя на теплообменной поверхности предлагается разбивать двумерную сетку внутри контрольного объема (рис. 1) в момент, когда начинается процесс кристаллизации. При полной заморозке теплоносителя внутри контрольного объема — двумерная сетка разрушается.

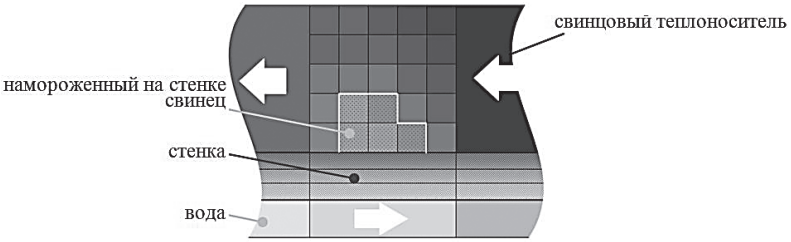


Рис. 1. Схематическое изображение участка динамической двумерной сетки

В случае заморозки в продольном направлении канала на протяжении процесса кристаллизации будет существовать не более двух наборов двумерных сеток, сопровождающих фронт кристаллизации. В худшем случае (одновременной заморозке на всей поверхности теплообмена) двумерные сетки будут разбиты для всего канала. Однако до и после процесса кристаллизации расчет будет одномерным.

Таким образом, предложенная схема не снижает скорости счета при отсутствии заморозки и максимально экономно использует ресурсы при заморозке, позволяя учитывать изменение проходного сечения.

Литература

1. **Чистов А.С.** и др. Численное моделирование тепломассопереноса в парогенераторе реакторной установки типа БРЕСТ при возникновение кристаллизации свинцового теплоносителя // Проблемы прочности и пластичности. 2018. Т. 80. №2.
2. **Самарский А.А.** Вычислительная теплопередача. Издательство: М.: Едиториал УРСС, 2003.

А.А. Карелина студент;
рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ, Москва)

ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОМЕРНОЙ МОДЕЛИ ГЛОБАЛЬНОЙ КОНВЕКТИВНОЙ ЯЧЕЙКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БОЛЬШИХ КОНВЕКТИВНЫХ ВИХРЕЙ

В работе моделируется механизм закрутки больших атмосферных вихрей. Согласно предлагаемой в [1] гипотезе, механизм свободной конвекции играет определяющую роль, как в исходной закрутке большого вихря, так и в последующем его разгоне. Исходное сдвиговое течение над нагретой поверхностью приводит к тому, что из образующихся в зоне конвекции конвективных валов «выживают» лишь те, циркуляция в которых сонаправлена с исходным сдвиговым течением. В работе приведены результаты, полученные при моделировании данного эффекта в рамках одномерной нестационарной модели глобальной конвективной ячейки [2], рис. 1. Исследовано поведение циркуляции в ячейке при ламинарном и турбулентном характере движения среды. Обнаружена область параметров, в которой при наличии сдвигового течения конвективные вихри в глобальной ячейке демонстрируют поведение, близкое к хаотическому, характерному для систем типа Лоренца.

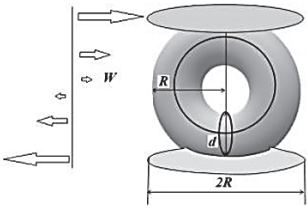


Рис. 1. Глобальная конвективная ячейка под действием сдвигового течения.

Рассмотрен механизм закрутки мезомасштабных вихрей типа торнадо, на закрутку которых сила Кориолиса практически не влияет. В них силы инерции играют роль, аналогичную силам плавучести в конвективной зоне циклона. Роль конвективных валов в данном случае играют вихри Гертлера [3].

Литература

1. **Карелина А.А.; Глазков В.В.** Исследование механизма закрутки больших конвективных вихрей с помощью одномерной модели глобальной конвективной ячейки// XXV Межд. науч.-тех. конф. «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика», Тез. докл. М.: 2019. с. 757.
2. **Свешников М.В.** Конвекция в сжимаемых средах при больших числах Рэлея. Дисс. на соискание степени кандидата наук: 01.04.14. НИУ «МЭИ» М.: 2017.
3. **Görtler H.,** Dreidimensionales zur Stabilitätstheorie laminearer Grenzschichten // Z. Angrew. Math. Mech., 35, pp. 362–363 (1955).

А.Ю. Балашов, студент; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (МЭИ, Москва)

БЕЗОТХОДНАЯ ДЛИТЕЛЬНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ТБО НА ОСНОВЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОКСОХИМИЧЕСКИХ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В условиях роста численности населения и развития различных технологий одной из самых актуальных проблем современности является проблема накопления ТБО. Отсутствие эффективной системы обращения с ТБО ведёт к ухудшению общей экологической обстановки и, как следствие, негативному влиянию на состояние живых существ.

Для решения настоящей проблемы в данной работе предлагается безотходная схема переработки ТБО на основе существующих коксохимических, энергетических и плазменных технологий. В предлагаемой схеме реализуется термическая деструкция отходов с помощью коксовой батареи [1] и последующее плавление остатка в электродуговой печи или в открытом ковше с нагревом от плазматрона [2].

Продуктами такой переработки ТБО являются низкосортный строительный камень (схожий с обсидианом) и «коксовые» газы, которые после соответствующей глубокой очистки, используются для генерации электроэнергии.

Источником тепловой энергии, необходимой для термической обработки отходов выступает ТЭС. Взаимодействие между дымовыми газами, проходящими через коксовую батарею и уходящими на ТЭС, с «коксовыми» газами исключается ввиду особенностей конструкции коксовой батареи. Это позволяет сократить объём газа, подлежащего очистке, а значит, и снизить стоимость очистного оборудования. Присоединение предлагаемой схемы к действующей ТЭС создаст единый энергетический комплекс для одновременной выработки электроэнергии и переработки ТБО.

Проведённая первичная оценка энергозатрат на реализацию схемы показала, что переработка 100 тыс. тон ТБО в год в связке со стандартным блоком ТЭС мощностью 500 МВт изменяет тепловой баланс ТЭС не более чем на 2%. Таким образом, предлагаемая схема переработки является перспективным решением проблемы накопления ТБО.

Литература

1. **А.А. Кауфман, Ю.Я. Филоненко**. Отечественные и зарубежные коксовые печи: конструкции и оборудование. Екб.: Изд-во Урал. ун-та, 2013.
2. **Г.К. Клименко, А.А. Ляпин**. Конструкции электродуговых плазматронов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.

К.Е. Мякшина, студент; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЛИННЫХ КРИОГЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

На сегодняшний день трубопроводы играют значительную роль во многих отраслях мировой экономики. По трубам транспортируют различные виды сырья (газы и жидкости). Криогенное топливо также начинают потреблять в промышленных объемах, что вызывает необходимость модифицировать транспортные системы [1], оптимизируя этапы строительства и эксплуатацию криогенных трубопроводов.

Основным фактором, позволяющим снизить энергозатраты при прокачке криогенных жидкостей, является снижение гидравлического сопротивления трубопроводов. На текущий момент наилучшие результаты в данной области дает использование эффекта Томса. Последний связан с добавлением полимерных присадок в турбулентный поток, что приводит к ламинаризации течения. Но существенным недостатком оказывается ограниченность применения полимеров, так как большинство добавок имеют биологическую структуру. При низких температурах, близких к криотемпературам (-160° C), действие полимеров перестает быть эффективным.

В данной работе исследуется вопрос о способе снижения гидравлического сопротивления в криогенном трубопроводе. Выдвинуто предположение об эффективности добавления ферромагнитных микро и нано частиц в шугу (двухфазную смесь) исследуемой жидкости. Анализируется возможность создания агломераций магнитных частиц, позволяющих подавлять вихревые структуры в потоке. В образующихся сетчатых структурах, как предполагается, будут «запутываться» турбулентные вихри. Аналогом являются полимерные цепочки, полученные в результате межмолекулярного взаимодействия растворяемых частиц [2].

Рассмотрена модель поведения отдельной частицы и ансамбля таких частиц в турбулентном потоке и изменение гидродинамических параметров течения жидкости при введении присадок.

Литература

1. **Кузма-Кичта Ю.А., Глазков В.В., Иванов Ю.В., Мякшина К.Е., Ямагучи С.** СПГ: перспективные сферы применения и проблемы транспортировки на большие расстояния // Тепловые процессы в технике. 2019. Т. 11. №4.
2. **Манжай В.Н., Коновалов К.Б., Казарян М.А.** Модель поведения молекул в турбулентном потоке и ее аналитические следствия // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2017. №12.

Р.А. Дуплянкин, студ.; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ ПАРОВОГО СЛОЯ ДЛЯ КАПЛИ В РЕЖИМЕ ЛЕЙДЕНФРОСТА

В работе проведено теоретическое исследование формы капли находящейся в режиме Лейденфроста, результаты сравниваются с данными теоретических [3] и экспериментальных работ [1, 2]. Рассматривается осесимметричная капля жидкости при температуре насыщения, помещенная на изотермическую высокотемпературную подложку. Форма верхней поверхности капли определяется из основного уравнения гидростатики, учитывающего Лапласовский скачок давления на границе пара и жидкости. Форма нижней поверхности капли определяется системой дифференциальных уравнений, описывающих течение пара в паровой пленке под каплей с учетом Лапласовского скачка давления на границе. Граничные условия для решения системы уравнений определялись из условия сшивки верхней и нижней поверхностей капель. На рис. 1 представлено сравнение результатов настоящей работы с данными других авторов. Наблюдается хорошее согласие результатов расчетов и экспериментальных данных. Обсуждается практическая значимость полученных результатов.

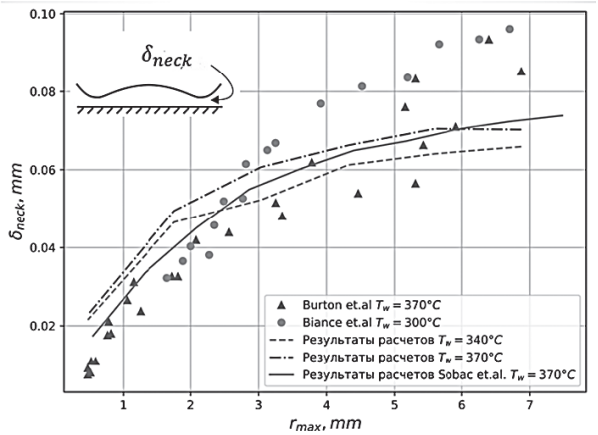


Рис. 1. Зависимость толщины шейки парового слоя от максимального радиуса капли

Литература

1. **Biance A-L., Clanet C., Que´re´ D.** Leidenfrost drops // PHYS. FLUIDS. 2003. Vol. 15, №6.
2. **Burton J.C., Sharpe A.L., Van der Veen R.C. A., Franco A., Nagel S.R.** Geometry of the Vapor Layer Under a Leidenfrost Drop // PRL. 2012. №109.
3. **Sobac B., Rednikov A., Dorbolo S., Colinet P.** Leidenfrost effect: Accurate drop shape modeling and refined scaling laws // PHYS. REV. E. 2014. №90.

Н.Н. Воробьев, аспирант; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ, Москва)

ДИНАМИЧЕСКИЙ ХАОС В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Одним из важнейших открытий, сделанных, во второй половине прошлого века является установление факта, что линейная детерминированная динамическая система при отсутствии в ней случайных возмущений может порождать динамический хаос. Стохастические колебания выявлены и исследованы в многочисленных динамических системах, хаос обнаружен в гидродинамике, механике, радиофизике и других областях науки. Исследования критериев хаоса, описывающих динамические процессы, по-прежнему актуальны. В настоящее время разрабатываются и внедряются методы подавления хаотических режимов, ведутся исследования в направлении практического применения динамического хаоса [1].

На кафедре ИТФ МЭИ ведутся работы по созданию демонстрационной энергетической установки малой мощности (0.2–2 кВт) [2], реализующей органический цикл Ренкина (ОЦР). Установка, предназначенная для гелиоэнергетики, использует низкопотенциальное тепло из водяного теплового аккумулятора с КПД около 11%. Конструкция установки базируется на стандартных технологических решениях и блоках, используемых в коммерческих холодильных установках и установках кондиционирования воздуха. Энергетическая установка, работающая по ORC, имеет сложную конструкцию с нелинейными нестационарными статическими и динамическими характеристиками. В ходе работы выделены различные области работы установки: с пульсацией расхода, без пульсаций расходы, и двухфазный режим.

В настоящее время проводятся первые эксперименты и обработка получаемых данных, выясняются механизмы и сценарии возникновения детерминированного хаоса. Рассматриваются различные нелинейности, которые могли бы привести к возникновению динамического хаоса. Проводится вычисление различных характеристик динамического хаоса и определяется их зависимость от параметров установки.

Литература

1. **Постников Н.С.** Динамический хаос в ядерных реакторах. Математическое моделирование и оптимальное управление. Нижний Новгород, 2003. 92 с.
2. **Воробьев Н.Н., Яцик С.П., Нгуен Тхи Минь Ань, Глазков В.В.** Разработка энергетической установки малой мощности реализующей органический цикл Ренкина (ОЦР) на низкопотенциальном тепле. XXV Межд. науч.-тех. конф. «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика», Тез. докл. М.: 2019. с. 780.

О.В. Куликов, студ.; рук. О.А. Синкевич, д.ф-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

УСЛОВИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ ЗАРЯЖЕННОЙ ГРАНИЦЫ ГРОЗОВОГО ОБЛАКА

Грозы, молнии в атмосфере Земли давно и интенсивно обсуждаются в научной литературе, но их связь с ураганами и торнадо требует более детального анализа. Причины возникновения торнадо, наряду с долгосрочным предсказанием погоды, являются, может быть, одной из самых интригующих проблем физики атмосферы.

В работе [1], исследуя динамику малых возмущений заряженной границы материнского облака, было получено дисперсионное уравнение, которое позволяет получить необходимые условия возникновения неустойчивости заряженной границы. Для границы с поверхностным зарядом σ_e и невязкой атмосферной среды ($\mu = 0$) оно сводится к

$$(\varepsilon'_a - \varepsilon'_f)\delta\rho > 0. \quad (1)$$

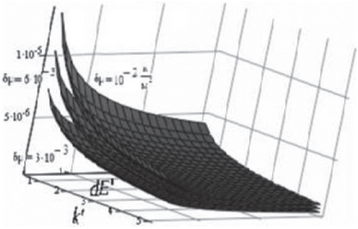


Рис. 1. Зависимость плотности электрического заряда σ_e от относительного волнового числа k' и разности δε'относительных диэлектрических постоянных

Здесь ε'_a, ε'_f – относительные диэлектрические проницаемости влажной атмосферы и облака, $\delta\rho$ – разность плотностей сред атмосферы и облака соответственно.

Используя полученное в работе [1] дисперсионное уравнение и неравенство (1), была рассчитана граница устойчивости $\sigma_{ecr} = f(k', \delta\varepsilon' = \varepsilon'_a - \varepsilon'_f)$ (Рис. 1). Граница построена при $\delta\rho$ = const: $3\cdot10^{-3}$, $6\cdot10^{-3}$, 10^{-2} кг/м^3 , $k' = \frac{k}{k_0}$ $(k_0 = \frac{2\pi}{L})$,

L — характерный масштаб облака, равный 100 м.

Из hис. 1 следует, что чем больше разность плотностей $\delta\rho$ и меньше волновое число k', тем для развития неустойчивости требуется больший поверхностный заряд облака.

Литература

1. **Синкевич О.А.** О неустойчивости электрически заряженной границы двухфазного грозового облака и турбулентной атмосферы // Теплофизика высоких температур. 2016. т. 54. №6. с. 827–834.

Студент Шмельков Г.Б.; рук. Глазков В.В., к.т.н., доц.,
Синкевич О.А., д.т.н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ РАКЕТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ КОСМОСА И РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА

На орбите Земли насчитывается огромное количество объектов, препятствующих запуску новых космических аппаратов и корректной работе старых. В будущем подобное загромождение орбиты может привести к разрушительным последствиям [1].

Существующие решения по утилизации обладают недостатками: уничтожение мусора лазером может привести к его разрушению на более маленькие фрагменты, которые труднее отследить, а сведение мусора в верхние слои атмосферы Земли не гарантирует его полное сгорание.

Предлагается пересмотреть привычные взгляды на космический мусор, переведя его из разряда вредной субстанции в полезный ресурс. Идея заключается в использовании космического мусора в виде топлива для универсального ракетного двигателя (УРД). Близкая концепция была высказана в [2]. Нами выдвигается идея создания системы, состоящей из космической станции с УРД, рабочим телом которого является космический мусор, и космического буксира, оснащенного аналогичным двигателем, который осуществляет поиск крупных фрагментов космического мусора и их буксировку к космической станции. В качестве УРД предлагается рассмотреть термический ракетный двигатель с надстройкой в виде рельсового плазменного ускорителя, позволяющей ускорять пары космического мусора до 10 км/с и более. Реализацию проекта предлагается разбить на несколько проектов, каждый характеризуется применением различных технических решений. Схема экспериментальной установки первого этапа представлена на рис. 1.

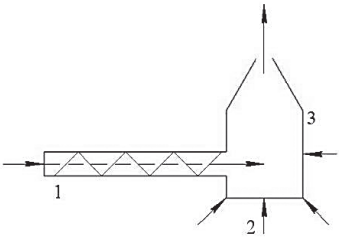


Рис. 1. Схема экспериментальной установки первого этапа:
1 — архимедов винт,
2 — нагревательные элементы,
3 — жаропрочный тигель

Литература

1. **Morin J**. Four steps to global management of space traffic // Nature, 2019, vol. 567, p. 25–27.
2. **Глазков В.В., Синкевич О.А**. Перспективы солнечных термических реактивных двигателей//ТВТ. 1998. Т. 36. N 5. СС. 842–843

М.К. Королева, студ.; рук. Е.И. Юрин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ЗАМЫКАЮЩИЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕННИКА С УЧЕТОМ НАМОРАЖИВАНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ТЕПЛООБМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В теплообменниках, использующих жидкометаллический теплоноситель возможна его заморозка, поэтому необходимо производить численный анализ работы оборудования с учетом таких процессов. В работе разрабатывается быстрый одномерный код способный моделировать теплообменное оборудование со скоростью (отношение времени задачи к времени за которое она посчиталась) существенно большей, чем с/с без применения специального вычислительного оборудования.

Разрабатываемый код осуществляет решение одномерных уравнений сохранения массы, энергии и импульса в гомогенном приближении для произвольного числа каналов обменивающихся теплом через заданные теплообменные поверхности. Программа способна моделировать течение жидкостей (в том числе жидких металлов), газов и кипение водяного теплоносителя (замыкающие соотношения [1]).

Проведена отладка программы на задаче «труба в трубе» и задаче о регулярном охлаждении. Возможность расчета затвердевания теплоносителя (в продольном направлении) проверена с помощью одномерной задачи Стефана [2].

Рис. 1. Схематическое изображение участка парогенератора с намороженным свинцом

При заморозке на поверхности теплообмена изменяется проходное сечение канала, что учитывается в расчете коэффициентов сопротивления и теплоотдачи.

Рассмотрена модель парогенератора работающего в свинцовом теплоносителе. Продемонстрирована возможность кода рассчитывать режим работы теплообменного аппарата с наморозкой свинцового теплоносителя приводящей к полному перекрытию проходного сечения и последующим «оттаиванием» при прекращении подачи воды.

Литература

1. **Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П**. Справочник по теплогидравлическим расчетам. **М:** Энергоатомиздат, 1990.
2. **Самарский А.А., Вабищевич П.Н.** Вычислительная теплопередача. **М:** Едиториал УРСС, 2003.

А.Р. Байбасарова, студент; А.С. Жумабеков, докторант PhD;
Рук-ли О.А. Степанова, к.т.н, доц. (ГУ им. Шакарима, г. Семей); А.В. Градобоев, д.т.н., проф. (Томский политехнический университет, г. Томск)

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМБИНИРОВННЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Производство продуктов питания неразрывно связано с процессами нагревания и охлаждения. Такие процессы приводят к различным изменениям в самих продуктах и приобретению ими тех или иных качественных свойств. При этом следует иметь в виду, что все тепловые процессы (и подвод, и отвод теплоты) являются энергоемкими и необходим точный расчет продолжительности процесса, а также точный температурный режим его осуществления. Исследованию теплофизических свойств различных пищевых продуктов посвящено большое количество работ как отечественных, так и зарубежных ученых. Тем не менее, постоянное обновление ассортимента продуктов и стремление снизить энергоемкость процессов подтверждают актуальность исследования теплофизических характеристик (ТФХ) пищевых продуктов [1, 2].

Целью исследования — проведение анализа, существующих методов определения ТФХ (удельной теплоемкости, коэффициентов теплопроводности и температуропроводности) комбинированных пищевых продуктов. Были изучены, как традиционные методики, так и новые, получившие свое распространение в последние годы.

Для определения преимуществ и недостатков методов по определению ТФХ мясораститетльных продуктов использовали принципы SWOT-анализа, т.е. изучение проводилось по четырем направлениям: исследование сильных сторон; исследование слабых сторон; исследование возможностей; исследование угроз [3].

Вывод. Для первоначальной оценки будет использован метод регулярного теплового режима.

Литература

1. **Каирбекова Г.С., Улумиев А.А.** Исследование теплофизических свойств и массообменных характеристик термолабильных отходов переработки винограда и яблок // Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. №8. С. 28–30.
2. **Шевцов А.А., Ткач В.В., Сердюкова Н.А.** Компьютерное моделирование теплофизических характеристик семян рапса методом нестационарного теплового режима // Наука, Образование и инновации в современном мире: Материалы национальной научно-практической конференции. 2018. С. 199–204.
3. SWOT-анализ: как сделать в 3 шага + примеры таблицы // Маркетинг для руководителей URL: https://in-scale.ru/blog/swot-analiz (дата обращения: 18.11.19).

С.С. Савекин, студ.; рук. В.В. Ягов д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КРИЗИСА КИПЕНИЯ В ТРУБАХ В ОБЛАСТИ СРЕДНИХ ПРИВЕДЕННЫХ ДАВЛЕНИЙ

Актуальность вопроса о кризисе теплообмена при кипении жидкости в каналах обусловлена невозможностью создания универсальной модели кризиса кипения в каналах, способной описывать этот процесс при любом сочетании параметров, от которых процесс кипения зависит. Вследствие этого, в проектных расчетах пользуются таблицами рекомендуемых значений КТП.

Результат анализа таблиц рекомендуемых значений КТП, представленных в работе [1], показывает, что необходимо разделять область анализа на две, а именно на область с нисходящей зависимостью и область с восходящей зависимостью КТП от массовой скорости в каждой из которых механизм кризиса различен. Так, восходящей области соответствует «кризис орошения», а в нисходящей области механизм кризиса аналогичен кризису пузырькового кипения. В данной работе рассматривается восходящая ветвь в области средних (0.05–0.5) приведенных давлений. В отличие от области высоких приведенных давлений, где механизм переноса массы определяется турбулентной диффузией, а поверхность пленки считается гладкой, в области умеренных давлений механизм осаждения обусловлен большими турбулентными вихрями, а поверхность пленки шероховатая (волнистая), когда можно использовать модель полностью развитой шероховатости. Механизмы уноса и осаждения в этом случае аналогичны, однако при уносе учитывается взаимодействие с пленкой, а при осаждении — доля капель в ядре потока. Ниже представлено выражение для расчета КТП для восходящей (1) области зависимости КТП от массовой скорости:

$$q_{\text{кр}} = \text{C1} \cdot D \cdot h_{LG} \cdot \left(\frac{\rho''}{\rho'}\right)^n, \qquad (1)$$

где C1 — эмпирическая константа, полученная в результате обработки опытных данных, D — поток осаждения, n — показатель степени.

Литература

1. **D.C. Groeneveld, J.Q. Shan, A.Z. Vasi´c, L.K. H. Leung, A. Durmayaz, J. Yanga, S.C. Cheng, A. Tanase.** The 2006 CHF look-up table. Nuclear Engineering and Design 237 (2007) 1909–1922.

М.М. Виноградов, И.А. Молотова, студ.; П.К. Канин,
В.А. Рязанцев, асп.; рук. к.т.н. А.Р. Забиров (НИУ «МЭИ»)

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ ЦИЛИНДРОВ С ПОКРЫТИЕМ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

С 2019 г. на кафедре инженерной теплофизики начались активно проводиться эксперименты на медных цилиндрах с покрытием из различных материалов, таких как нержавеющая сталь, бронза, золото. В ходе таких экспериментов, необходимо определять и вычислять КТО на поверхности этих цилиндров, используя только одну центральную термопару.

В настоящей работе была разработана программа для выполнения данной задачи. Эта программа состоит из двух частей, первая является 3D редактор, который позволяет задать произвольную геометрию тела в различных системах координат. Другая программа, отвечает за решение дифференциального уравнения для различных систем координат.

$$\frac{\rho C}{\lambda}\frac{\partial T}{\partial t} = \nabla^2 T \qquad (1)$$

В ходе выполнения этой работы проводились исследования влияния толщины слоя на изменение температуры поверхности. Так как в момент написания этой статьи реальная толщина слоя нержавеющего покрытия, была неизвестна, анализ проводился для толщин 0.5, 1 и 2 мм. В ходе этого анализа было выяснено, что начиная с толщины 1 мм, следует учитывать, влияние покрытия на изменение температуры поверхности медного цилиндра, максимальная разница температуры поверхности и центра была получена 100 К.

Работа выполнена на кафедре инженерной теплофизики им. В.А. Кириллина НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант №17-79-20402)

Литература

1. **Д.А. Лабунцов и В.В. Ягов,** Механика двухфазных систем, г. Москва: Издательский дом «МЭИ», 2007.
2. **С.В. Патанкар,** Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах, г. Москва: Издательство «МЭИ», 2003.

П.П. Домуховский, студ.; рук. Д.Н. Герасимов (НИУ «МЭИ», Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ МНОГОПУЗЫРЬКОВОЙ СОНОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

В работе [1] высказана гипотеза о том, что явление многопузырьковой сонолюминесценции может быть объяснено электрическими разрядами вблизи ультразвукового волновода, погруженного в жидкость: в двойном электрическом слое может возникнуть электрический пробой при условии, что его размеры значительно превышают длину свободного пробега электрона. В работе [2], действительно, наблюдалась аналогичная картина свечения и описаны сопутствующие электрические эффекты.

В настоящей работе исследуется связь между излучением и наличием в жидкости парогазовых пузырьков. Ультразвуковое воздействие на жидкость сопровождается образованием внутри нее двухфазной среды, причем в некоторых случаях специфическая форма получившейся пены соответствует столь же оригинальной структуре свечения (см. рис. 1).

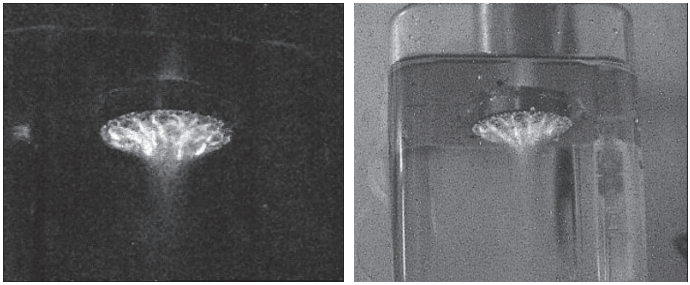


Рис. 1. Сонолюминесценция глицерина на ультразвуковом волноводе; слева — при наличии внешнего освещения, справа — в полной темноте.

В данной работе исследуется также динамика изменения разности потенциалов между электродами, погруженными в жидкость, в зависимости от времени, а также температура жидкости.

Литература

1. **Френкель Я.И.** Кинетическая теория жидкостей. М.: Изд.-во АН СССР, 1945. 424 с.
2. **Бирюков Д.А., Герасимов Д.Н., Синкевич О.А.** Электризация жидкости при сонолюминесценции// «Письма в ЖТФ». Т. 40 (2014). Вып. 3. С. 90–94.

А.Е. Кошелева, студ.;
рук. Д.А. Бирюков, к.т.н., ст. преподаватель. (НИУ «МЭИ»)

ЗОНДОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Свечение, возникающее при интенсивной кавитации, называется гидролюминесценцией (ГЛ). Обнаруженная еще в 1947 году, она до сих пор остается объектом интенсивных экспериментальных исследований. Экспериментальная установка для генерации ГЛ позволяет наблюдать две принципиально разных формы этого явления. Первая форма ГЛ появляется в наименьшем сечении прозрачного дросселя и наблюдается невооруженным глазом, а вторая — в кавитационной струе на выходе из дросселя. Если в первом случае основные механизмы возникновения свечения известны, то во втором общепринятой теории до сих пор не существует. Предполагают, что причиной такого свечения являются *высокие температуры* при схлопывании кавитационных пузырьков. Данная концепция лежит в основе «тепловых» теорий — одной из двух основных групп теорий, объясняющих происхождение ГЛ. В основе второй, не менее важной группы теорий, называемых «электрическими», лежит концепция, согласно которой свечение возбуждают разнообразные *электрические явления*, сопровождающие кавитацию. Именно в пользу второй теории говорит большинство экспериментальных и теоретических работ: их результаты указывают, что процессы ГЛ в кавитирующей струе все-таки имеют «электрическую», а не «тепловую» природу.

Для исследования вышеописанных явлений проще всего применять оптические методы исследования. Но определить локальные значения температуры или параметров плазмы можно только с применением инвазивных средств измерения, одним из которых является зондовый метод. Высокое давление в экспериментальном участке, где и планируются получения локальных параметров, затрудняет использование зондового метода. В данной работе представлены результаты разработки средств измерения параметров плазмы в действующей экспериментальной установке зондовым методом.

М.В. Кудрявцев, студент;
Рук-ли: В.И. Артёмов, к.ф.-м н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА И ГИДРОДИНАМИКИ ПРИ СМЕШАННОЙ ТУРБУЛЕНТНОЙ КОНВЕКЦИИ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОБОГРЕВАЕМОЙ ТРУБЕ

При моделировании турбулентных течений широко используются разнообразные двухпараметрические модели для расчета турбулентной вязкости. Одной из таких моделей является k-e модель Лаундера-Шарма [1] для низких турбулентных чисел Рейнольдса. Исходная модель Лаундера-Шарма не содержит дополнительных членов порождения (диссипации) в уравнении для кинетической энергии турбулентных пульсаций k, учитывающих вклад сил плавучести. Выполнена модификация указанной модели и реализована в открытом CFD коде ANES [2]. Для учета сил плавучести в балансе турбулентной энергии k использованы три модели, получившие в зарубежной литературе названия: Simple Gradient Diffusion Hypothesis (SGDH), Generalized Gradient Diffusion Hypothesis (GGDH) и Algebraic Heat Flux Model (AHFM).

В работе представлены результаты численного моделирования с использованием модифицированной модели Лаундера-Шарма «ухудшенных» режимов теплообмена при смешанной турбулентной конвекции воздуха в вертикальной обогреваемой трубе. Результаты расчетов чисел Нуссельта сравниваются с экспериментальными данными Полякова и Шиндина [3]. Обсуждается эффективность моделей SGDH, GGDH и AHFM в рассматриваемых режимах смешанной конвекции.

Литература

1. **V.C. Patel, W. Rode, G. Scheuerer.** TurbulenceModels for Near-Wall and Low Reynolds NumberFlows: A Review. AIAA Journal, 1985, Vol. 23, No 9. pp. 1308–1319.
1. Код Anes20xe. «Описаниние численных алгоритмов кода», версия 2.24,2019.
1. **A.F. Polyakov, S.A. Shindin.** Development of turbulent heat transfer over the length of vertical tubes in the presence of mixed air convection. Int.J. Heat Mass Transfer. Vol. 31, No. 5, pp. 987–992, 1988.

С.А. Степанов, студ.; рук. Г.Г. Яньков, д.т.н, вед. науч. сотр. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СВЕРХЗВУКОВОГО ЭЖЕКТОРА

Сверхзвуковые воздушные эжекторы широко применяются в промышленности в качестве насосов, теплообменников или диффузоров. Простая конструкция эжекторов и удобство при их интеграции в различные аппараты или экспериментальные установки обеспечили им широкую популярность и распространение в технических устройствах.

Целью данной работы было рассчитать сверхзвуковой эжектор с помощью CFD-кода FlowVision. Использование одномерных моделей для моделирования течения в эжектирующих устройствах не дает удовлетворительного результата [1], из-за чего CFD-моделирование является наиболее приемлемым методом расчета этого класса задач.

При расчете процессов гидродинамики в рамках осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса одним из важных параметров расчета является выбранная модель турбулентности. На сегодняшний день не существует универсальной модели для всех классов задач, и даже при использовании DNS (прямое численное моделирование с разрешением вихрей вплоть до Колмогоровских) не во всех случаях удается достичь приемлемого совпадения с экспериментальными данными. Однако существует множество моделей турбулентности, при использовании которых можно получить достаточно точные результаты для соответствующих классов задач. Выбор модели турбулентности — важная часть подготовки задачи для расчета. В данной работе проводится сравнение экспериментальных данных [2] и данных, полученных при использовании модели Ментера SST [3] и k-ε модели, которые по результатам многочисленных исследований являются наиболее оптимальными для задач, связанных с турбулентным течением в струях и эжекторах.

Литература

1. **Kong F., Kim H.D.** Analytical and computational studies on the performance of a two-stage ejector — diffuser system //International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2015. — Т. 85. — С. 71–87.
2. **Rao S.M. V., Jagadeesh G.** Observations on the non-mixed length and unsteady shock motion in a two dimensional supersonic ejector //Physics of Fluids. — 2014. — Т. 26. — №. 3. — С. 036103.
3. **Menter F.R., Kuntz M., Langtry R.** Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model // Turbulence, Heat and Mass Transfer 4, ed: K. Hanjalic, Y. Nagano, and M. Tummers, Begell House, Inc., 2003, pp. 625–632

М.А. Соколов, студент; рук. В.И. Артемов, к.ф.-м.н.,.доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В КРУГЛОЙ НЕРАВНОМЕРНО ОБОГРЕВАЕМОЙ ТРУБЕ В УСЛОВИЯХ СОВМЕСТНОГО ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ТЕРМОГРАВИТАЦИОННОЙ КОНВЕКЦИИИ

В последнее десятилетие выполнено значительное число исследований, посвященных анализу воздействия магнитного поля (МП) и термогравитационной конвекции (ТГК) на турбулентные течения электропроводящих жидкостей в обогреваемых каналах. Изучение таких течений представляет научный и практический интерес вследствие выявленных важных особенностей процессов теплообмена и широкого круга прикладных задач, для которых характерно существенное влияние МП и ТГК. В частности, жидкие металлы и расплавы солей рассматриваются как перспективные теплоносители для охлаждения различных элементов термоядерных установок.

В настоящей работе выполнено моделирование турбулентного течения ртути в горизонтальной трубе при обогреве «снизу» с использованием URANS (Unsteady Reynolds Averaged Navier — Stokes) подхода. Расчеты проводились в среде CFD-кода ANES [1]. Использовались две модели замыкания исходной системы уравнений: стандартная модель k-ε с пристенными функциями, а также модель k-ω. Рассматривался турбулентный режим течения с числами Рейнольдса и Грасгофа, равными 10^4 и $3.8 \cdot 10^7$. Число Гартмана варьировалось в диапазоне 0–300. Полученные результаты сравниваются с экспериментальными данными [2], а также с данными прямого численного моделирования [3].

Литература

1. Код ANES [электронный ресурс]. URL: http://anes.ch12655.tmweb.ru/ (дата обращения 20.11.2019)
2. **I.A. Belyaev, Yu.P. Ivochkin, Ya. Listratov, N.G. Razuvanov and V.G. Sviridov**, Temperature Fluctuations in a Liquid Metal MHD-Flow in a Horizontal Inhomogeneously Heated Tube, October 5, 2014, Joint Institute for High Temperatures, Russian Academy of Scince, Moscow, Russia
3. **Ya. Listratov, D. Ognerubov, O. Zikanov, V. Sviridov**. Numerical simulations of mixed convection in liquid metal flow within a horizontal pipe with transverse magnetic field, 1 August 2018, The Japan Society of Fluid Mechanics and IOP Publishing Ltd

А.А. Клементьев, студент; рук. К.Б. Минко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА ПРИ ТЕЧЕНИИ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ НА ПУЧКАХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРУБ В КАНАЛАХ РАЗЛИЧНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Представлены результаты численного моделирования конденсации пара из движущейся паровоздушной смеси на поверхностях горизонтальных труб с шахматной компоновкой, помещенных в каналы с переменным и постоянным поперечным сечением по длине. Система определяющих уравнений сохранения — компонент импульса смеси, энергии, массы компонент смеси (пара и воздуха) — решалась в двумерной постановке с использованием открытого CFD кода ANES [1]. Пленка конденсата, образующаяся на трубках, моделировалась с помощью модифицированной IBL (Integral Boundary Layer) модели [2], в которой уравнения сохранения массы и импульса для пленки записываются в одномерном виде. Верификация модели выполнена с привлечением экспериментальных данных [3]. Результаты расчетов с различной компоновкой труб и формой канала показали, что конденсатор с переменным сечением (рис. 1) оказывается более эффективным, чем конденсатор с неизменным по длине сечением, за счет поддержания скорости потока на приемлемом уровне и сохранения динамического воздействии паровоздушного потока на диффузионный пограничный слой. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-19-01604).

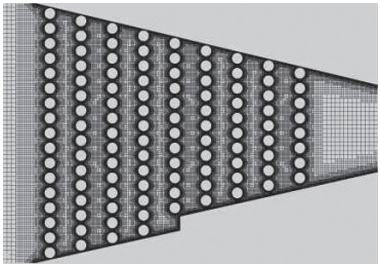


Рис. 1. Пример расчетной области

Литература

1. Код ANES [Электронный ресурс]. URL: http://anes.ch12655.tmweb.ru/ (дата обращения: 26.11.2019).
2. **Актершев С.П.** Устойчивость, нелинейные волны и процессы переноса в пленках жидкости при сложных условиях// Дисс. на соискание степени д. т.н., Институт теплофизики им. Кутателадзе РАН, Нососибирск, 2016.
3. **Мильман, О. О., Крылов, В. С., Птахин, А. В., Кондратьев, А. В., Яньков Г.Г.** Высокоэффективный конденсатор пара из парогазовой смеси //Теплоэнергетика. — 2017. — №. 12. — С. 16–26.

М.Д. Нащёкин, асп.; рук. К.Б. Минко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОТЕПЛОПРОВОДНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СЛОЕВ ИЗ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ ЧАСТИЦ

Среди разрабатываемых новых технологий и устройств очистки и хранения водорода для автономной энергетики экономически приемлемыми и безопасными могут стать устройства и системы, основанные на применении обратимых металлогидридов, используемых в виде порошков и, как следствие, имеющих низкую эффективную теплопроводность. В настоящей работе исследуется возможность повышения эффективной теплопроводности металлогидридной засыпки за счет внедрения высокотеплопроводных добавок. В качестве высокотеплопроводных добавок выбраны стержни диаметром 0.5 мм и длиной 5 мм из различных материалов (сталь, латунь, медь, алюминий). Структура засыпки моделировалась при помощи специально разработанного алгоритма, результат работы которого представлен на рис. 1. Отношение теплопроводности добавок к теплопроводности базового материала (металлогидридная засыпка) составляло от 10 до 1900, доля включений — 1%, 2.5%, 5%, 10% от общего объема слоя. Показано, что внедрение добавок приводит к значительному росту эффективной теплопроводности. Предложена формула для аппроксимации полученных зависимостей, которая в дальнейшем может быть использована для расчета металлогидридных систем хранения, очистки и компримирования водорода. Используемая модель была предварительно протестирована на доступных в литературе экспериментальных данных [1]. Все расчеты были выполнены с использованием CFD-кода ANES [2]. Работа выполнена при финансовой поддержке совета по грантам Президента РФ (грант МК-829.2019.8).

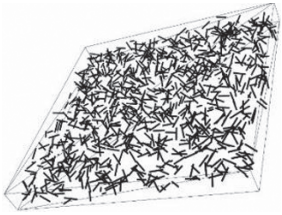


Рис. 1. Структура засыпки с долей включений в 1%

Литература

1. **М.И. Эпов, В.И. Терехов, М.И. Низовцев, Э.П. Шурина, Н.Б. Иткина, Е.С. Уколов** Эффективная теплопроводность дисперсных материалов с контрастными включениями // ТВТ. 2015. Т. 53. №1. стр. 48–53.
2. Код ANES [Электронный ресурс]. URL: http://anes.ch12655.tmweb.ru/ (дата обращения: 30.11.2019).

А.К. Цебаев, студ.; рук. Д.Н. Герасимов, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

СПЕКТРОСКОПИЯ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ

В условиях интенсивного механического воздействия — например, при кавитации или при ультразвуковом воздействии — жидкость может испускать свечение, имеющее не до конца выясненную природу. В некоторых случаях подобное свечение называют сонолюминесценцией; в работе [1] показано, что свечение, инициированное разными способами в одной и той же жидкости, имеет похожий непрерывный спектр, неплохо аппроксимирующийся гауссовой кривой по энергии излучения. Это означает, что за излучение ответственен специфический для данной жидкости механизм излучательного снятия возбуждения; можно попробовать добиться похожего спектра и без механического воздействия на жидкость.

В данной работе исследуются спектры излучения высоковольтного (до 30 кВ) газового разряда в воздухе вблизи поверхности глицерина. Варьируя параметры разряда, можно наблюдать две его формы: диффузную и контрагированную. В последнем случае наблюдаемый спектр содержит непрерывную составляющую, также неплохо описываемую кривой нормального распределения по энергиям.

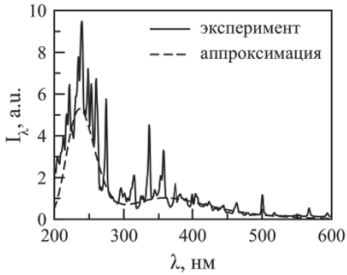


Рис. 1. Спектр излучения газового разряда в воздухе (U=10 кВ) над поверхностью глицерина. Можно видеть, что в данном случае линейчатый спектр наложен на непрерывную составляющую; на рисунке показана ее аппроксимация гауссовскими кривыми.

Таким образом, сплошной спектр можно наблюдать и в условиях обычного газового разряда, однако связь данного излучения с сонолюминесценцией остается пока открытым вопросом.

Литература

1. **Беляев И.А., Бирюков Д.А., Герасимов Д.Н.** Спектроскопия кавитирующей жидкости в оптическом и рентгеновском диапазоне// «Оптика и спектроскопия». Т. 125 (2018). Вып 1. С. 39–45.

И.С. Кудимкин, студ.; рук. Г.Г. Яньков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОДЪЕМНОМ ТУРБУЛЕНТНОМ ТЕЧЕНИИ В ОБОГРЕВАЕМОЙ ТРУБЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

АЭС с реакторами, охлаждаемыми «легкой» водой сверхкритического давления (СКД), позволили бы поднять к.п.д. производства электроэнергии до того же уровня, что и на ТЭС СКД. При этом, за счет теплоты псевдофазового перехода, можно было бы существенно сократить расход воды через реактор и получить значительный выигрыш в капитальных затратах. Поэтому надежный расчет теплообмена в каналах при турбулентном течении теплоносителей с сильно изменяющимися теплофизическими свойствами — одна из ключевых проблем, требующих решения при разработке ядерных энергетических установок с теплоносителем СКД.

Известно [1], что область существования нормальных режимов теплообмена, отвечающих требованиям надежной и безопасной эксплуатации ядерных установок, ограничена сравнительно невысокими тепловыми нагрузками. При повышении тепловой нагрузки могут возникать так называемые режимы ухудшенного теплообмена, характеризующиеся резким увеличением температуры («пиками» температуры) стенки канала на некотором удалении от входа. Такие режимы теплообмена сред СКД представляют опасность для прочности каналов.

В работе моделировалось турбулентное течение и теплообмен при подъемном течении в обогреваемой трубе диоксида углерода СКД. Исследовались некоторые режимы из работы [1], которые отличались друг от друга степенью влияния сил плавучести, тепловыми нагрузками и массовыми скоростями. В расчетах использовались низкорейнольдсовые двухпараметрические RANS — модели для турбулентной вязкости. Сопоставление результатов с данными DNS работы [1] показало неспособность корректного описания поведения температуры стенки в ухудшенных режимах теплообмена при использовании RANS — моделей. Расчеты были выполнены в среде CFD- кода ANES [2].

Литература

1. **Курганов В.А., Зейгарник Ю.А., Яньков Г.Г., Маслакова И.В.** Теплообмен и сопротивление в трубах при сверхкритических давлениях теплоносителя: итоги научных исследований и практические рекомендации. М.: Издательство ООО «Печатный салон «Шанс», 2018. — 304 с.
2. [Электронный ресурс]. URL: http://anes.ch12655.tmweb.ru. (Дата обращения — 01.10.2019)

И.А. Дядиченко, студ.; рук. И.Ф. Самсон, к.тн. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЁТ ИСПАРИТЕЛЯ СХАТ

В работе был произведен расчёт испарителя прямоугольной формой для солнечного холодильника адсорбционного типа с рабочей парой активированный уголь — метанол.

Исходными данными для работы являлись геометрические параметры испарителя СХАТ, принятый средний расход метанола, теплофизические и термодинамические свойства метанола.

Общий тепловой баланс испарителя:

Общий тепловой баланс испарителя:

$$Q_{отвед} = Q_1 + Q_2 + Q_3, \qquad (1)$$

где $Q_{отвед}$ — общее количество отведённого тепла, Вт; Q_1 — теплота, отведённая от метанола, Вт; Q_2 — теплота, отведённая от воды, Вт; Q_3 — теплота, отведённая от воды для образования льда, Вт;

Для описания равновесных состояний адсорбента и адсорбата использовалась модель Дубинина-Астахова [1]:

$$X_{eq} = X_0 e^{-\beta\left(T ln\left(\frac{P_0}{P}\right)\right)^n} \quad (2)$$

где X_{eq} — масса адсорбированного метанола после достижения равновесия между адсорбатом и адсорбентом; X_0 — максимальное количество метанола, которое может быть адсорбировано данным типом активированного угля; β — коэффициент аффинности, зависящий от характеристик активированного угля, K^(-2); P — давление метанола в системе, Па; P_0 — давление насыщения метанола, соответствующее температуре активированного угля, Па [1];

В результате расчётов были получены следующие результаты:

— Составлен тепловой баланс для СХАТ.

— На основе тепловых балансов было получено распределение температур по слоям стенки испарителя и изменяющегося слоя льда.

— Произведён анализ условий образования льда на границе раздела фаз лёд-вода.

— Выполнен расчёт термического сопротивления между метанолом и разделом фаз лёд-вода. Было обнаружено, что при выбранной конструкции невозможно получение желательного количества льда и подержание температуры метанола в испарителе в диапазоне –5–0 °C.

Расчёты показывают, что основным ограничением при проектировании испарителя является рост термического сопротивления при увеличении толщины слоя льда на внешней поверхности стенки испарителя.

Литература

1. **Самсон И.Ф.** Совершенствование характеристик и разработка метода расчета солнечной адсорбционной холодильной установки периодического действия: дис. … канд. тех. наук: 05.04.03. — М., 2015. — 132 с.

М.М. Виноградов, И.А. Молотова, студ.; П.К. Канин,
В.А. Рязанцев, асп.; рук. к.т.н. А.Р. Забиров (НИУ «МЭИ»)

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ ЦИЛИНДРОВ С ПОКРЫТИЕМ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

С 2019 г. на кафедре инженерной теплофизики начались активно проводиться эксперименты на медных цилиндрах с покрытием из различных материалов, таких как нержавеющая сталь, бронза, золото. В ходе таких экспериментов, необходимо определять и вычислять КТО на поверхности этих цилиндров, используя только одну центральную термопару.

В настоящей работе была разработана программа для выполнения данной задачи. Эта программа состоит из двух частей, первая является 3D редактор, который позволяет задать произвольную геометрию тела в различных системах координат. Другая программа, отвечает за решение дифференциального уравнения для различных систем координат.

$$\frac{\rho C}{\lambda}\frac{\partial T}{\partial t} = \nabla^2 T \qquad (1)$$

В ходе выполнения этой работы проводились исследования влияния толщины слоя на изменение температуры поверхности. Так как в момент написания этой статьи реальная толщина слоя нержавеющего покрытия, была неизвестна, анализ проводился для толщин 0.5, 1 и 2 мм. В ходе этого анализа было выяснено, что начиная с толщины 1 мм, следует учитывать, влияние покрытия на изменение температуры поверхности медного цилиндра, максимальная разница температуры поверхности и центра была получена 100 К.

Работа выполнена на кафедре инженерной теплофизики им. В.А. Кириллина НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант №17-79-20402)

Литература

1. **Д.А. Лабунцов и В.В. Ягов,** Механика двухфазных систем, г. Москва: Издательский дом «МЭИ», 2007.
2. **С.В. Патанкар,** Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах, г. Москва: Издательство «МЭИ», 2003.

И.А. Молотова, М.М. Виноградов, студ.;
рук-ли В.В. Ягов, д.т.н., проф.; А.Р. Забиров, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГОРЯЧИХ ТЕЛ В ЖИДКОСТЯХ

Процессы теплообмена при нестационарном охлаждении высокотемпературных тел имеют большую значимость для различных отраслей промышленности, таких как технологии закалки в металлургии, генерация пара высокого давления и температуры на ТЭС, аварии с потерей теплоносителя на АЭС (LOCA — loss-of-coolant accident) и сопутствующего возникновения парового взрыва. Изучение характеристик протекания этих процессов, а также исследование влияния свойств материалов и покрытий позволит обосновать с позиций теплофизики выбор нового вида «толерантного» топлива для повышения надежности АЭС. Исследования зарубежных и отечественных авторов [1] свидетельствуют о прямом влиянии свойств поверхности (теплофизические свойства и шероховатость) на теплообмен при охлаждении высокотемпературных тел в жидкостях.

Эксперименты проводились на экспериментальной установке «Режимы охлаждения высокотемпературных поверхностей», НИУ «МЭИ». Схема и описание экспериментальной установки приведены в [2]. Цилиндрические образцы с покрытиями охлаждались в жидкостях с различными теплофизическими свойствами. По результатам проведённых экспериментов были получены новые термограммы охлаждения рабочих образцов в жидкостях при различных значениях температуры и давления.

Авторами обнаружено, что возникновение интенсивного режима кипения зависит одновременно от нескольких факторов — с увеличением недогрева жидкости и давления происходит рост минимальной температуры плёночного кипения (так называемой температуры Лейденфроста). Также экспериментально обнаружен рост температуры Лейденфроста с уменьшением тепловой активности покрытий и увеличением их толщины.

Исследования были проведены при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, проект №19-38-60057.

Литература

1. **Yagov V.V., Zabirov, A. R., Kanin, P.K.** Heat Transfer at Cooling High-Temperature Bodies In Subcooled Liquids // Int.J. Heat Mass Transfer. 2018. V. 126. Part A.P. 823–830.
2. **Yagov V.V., Zabirov A.R., Kaban»kov O. N., Minko M.V.** Heat transfer during cooling of high temperature spheres in subcooled water at different pressures // Int.J. Heat Mass Transfer. 2017. V. 110. P. 219–230.

А.В. Абрамов, студент; рук. В.И. Артемов, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ТИРИСТОРА С ПОМОЩЬЮ КИПЯЩЕЙ ЖИДКОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ РАДИАТОРА

В данной работе представлены результаты численного моделирования охлаждения тиристора Т-283–1600 с помощью фреона Novec 649, который имеет температуру кипения 49 °С, при различных конфигурациях радиатора. Тиристор рассматривается как цилиндр диаметром 86 мм и высотой 38 мм. Полное объемное тепловыделение тиристора составляет 2 кВт. Для расчета теплоотдачи используется эффективное значение коэффициента теплоотдачи (рис. 1), которое объединяет в себе формулы для переходного и для пузырькового кипения, предложенные В.В. Яговым [1]. Для нахождения поля температуры использовались уравнения теплопроводности в двумерной цилиндрической или трехмерной декартовой систем координат. Уравнения решались в двумерной постановке с использованием открытого CFD кода ANES [2]. В качестве радиатора рассматривается алюминиевый цилиндр, на котором расположены ребра. Были проведены расчеты, направленные на определение оптимального количества ребер, шага между ними, их оптимальной длины и формы, которая изменялась от прямоугольной до трапециевидной с различной толщиной основания. В ходе данной работы получены значения для оптимального оребрения, а так же показано, что возникновение зон с переходным кипением не оказывает существенного влияния на поле температур в тиристоре.

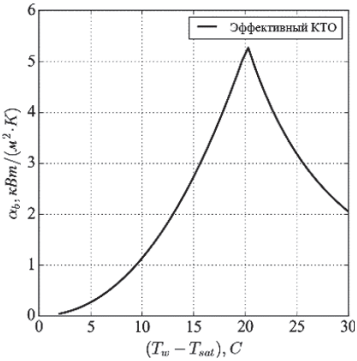


Рис. 1. График эффективного значения коэффициента теплоотдачи

Литература

1. **В.В. Ягов**. Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях: учебное пособие для вузов/ М.: Издательский дом МЭИ, 2014–481с., 542с.
2. Код ANES [Электронный ресурс]. URL: http://anes.ch12655.tmweb.ru/ (дата обращения: 26.11.2019)

студент И.М. Рознин; руководители А.И. Счастливцев, к.т.н.; И.А. Беляев, к.т.н. (ОИВТРАН)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ В ВОДОРОДНО-КИСЛОРОДНОМ ПАРОГЕНЕРАТОРЕ КИЛЛОВАТНОГО КЛАССА МОЩНОСТИ

Наиболее эффективным способом решения задачи покрытия неоднородного графика нагрузки АЭС могут стать водородные системы аккумулирования «провальной» энергии и последующее производство пиковых нагрузок с помощью водородно-кислородных парогенераторов (ВКП) позволяющих увеличить мощность турбоустановки АЭС.

В ВКП, посредством сжигания водорода в кислороде, происходит преобразование энергии водорода в тепловую энергию водяного пара. При этом температура неохлажденного пара может достигать 3500–3600 К. Чтобы обеспечить работу ВКП в качестве интегрированной надстройки к АЭС, необходимо охлаждение продуктов горения до температур, которыми ограничены материалы конструкций турбоустановок.

В ходе предыдущих этапов исследования процессов горения на экспериментальной установке ВКПГ-200К в ОИВТРАН [1] было установлено, что при увеличении количества охлаждающей воды и, как следствие, снижение температуры генерируемого пара происходило уменьшение полноты сгорания водорода, что объясняется эффектом закалки.

Для дальнейшего исследования тепловых процессов при стехиометрическом сжигании водорода в кислороде и, в частности, для изучения возможностей снижения недогара в генерируемом паре вследствие эффекта закалки, в ОИВТРАН был создан новый экспериментальный стенд. Его принципиальное отличие заключается в том, что зона охлаждения продуктов сгорания имеет внешнее охлаждение и большую длину, достаточную чтобы обеспечить равномерное снижение температуры пара без непосредственного впрыска воды в парогенератор.

В работе представлены результаты испытаний, которые были получены на модернизированной экспериментальной установке ВКП киловаттного класса мощности.

Список литературы:

1. **Борзенко В.И., Счастливцев А.И.** Эффективность генерации пара в водородно-кислородном парогенераторе киловаттного класса мощности //ТВТ. — 2018. — Т. 56. — №. 6. — С. 946–952.

студент И.М. Рознин; руководители И.А. Беляев, к.т.н.;
Я.И. Листратов, к.т.н. (НИУ»МЭИ»)

ПУЛЬСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В МГД ПОТОКЕ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НЕОДНОРОДНО ОБОГРЕВАЕМЫХ КАНАЛАХ

Проведено экспериментальное исследование характеристик теплообмена в горизонтальных каналах (круглый, прямоугольный) с односторонним обогревом снизу под воздействием поперечного магнитного поля. Представлены результаты прямого численного моделирования (DNS) смешанной конвекции данного процесса в условиях эксперимента.

Рассматриваемая конфигурация представляет практический интерес, поскольку, в частности, имитирует элементы системы охлаждения реактора-токамака, а именно верхний дивертор.

Экспериментальные исследования выполнены на ртутном МГД-комплексе НИУ МЭИ — ОИВТ РАН в рамках многолетней программы сотрудничества. В качестве теплоносителя используется ртуть, опытный участок в одном случае представлял собой горизонтально расположенную трубу диаметром d = 19 мм и относительной длиной 100 калибров, в другом — прямоугольный участок 56x16 мм относительной длиной 32 калибра приведенной к характерному размеру. Нагреватель для круглой трубы расположен на последних 35 калибрах, обогревалась нижняя половина трубки, поперечное магнитное поле однородно и полностью покрывает область обогрева. В канале прямоугольной формы обогревалась нижняя грань (56 мм) на последних 20 калибрах, весь опытный участок был помещен в однородное поперечное магнитное поле.

Анализ полученных ранее экспериментальных данных [1] и численного моделирования [2] показывает, что в определенном диапазоне чисел Гартмана в потоке наблюдаются устойчивые вихревые структуры.

В работе приводится параметрическое исследование этого явления в расширенном диапазоне магнитных полей.

Список литературы:

1. **Беляев И.А., Ивочкин Ю.П., Листратов Я.И., Разуванов Н.Г., Свиридов В.Г.** Пульсации температуры в МГД-потоке жидкого металла в горизонтальной неоднородно обогреваемой трубе //ТВТ. — 2015. — Т. 53. — №. 5. — С. 773–781. Суржиков С.Т. Перенос излучением в неоднородном слое// ТВТ. 1997. Т. 35. №3. С. 1–2.
2. **Zikanov O., Listratov Y.I., Sviridov V.G.** Natural convection in horizontal pipe flow with a strong transverse magnetic field //Journal of Fluid Mechanics. — 2013. — Т. 720. — С. 486–516.

28.17.23, 29.19.09, 30.51.31

А.В. Скурихин, асп.; рук. А.В. Костановский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ПОРИСТОМ МАТЕРИАЛЕ

В настоящее время для получения теплоизолирующих свойств материалов для футеровок печей могут вводиться пористые добавки, например, вспученный вермикулит, получаемый обжигом одноименного концентрата или руды. Его перспективность обусловлена малой насыпной плотностью (70–120 кг/м^3), низким «эффективным» коэффициентом теплопроводности $\lambda_{эфф}$ ($\lambda_{эфф}$ < 0,3 Вт/ (м*К) при Т = 1300 К), огнеупорностью до 1600 К. Кроме того, вермикулит химически инертен, долговечен и экологически безопасен [1].

По мере нагрева при температурах выше 500 °С по мере доля теплоты, которая переносится излучением, увеличивается, а интенсивность конвективных процессов в пористых средах возрастает. В этой связи, необходимо рассматривать задачу сложного теплообмена, где должны быть учтены все три механизма теплопередачи: «фононная» теплопроводность, обусловленная движением (колебанием) и взаимодействием частиц, а также излучение и конвекция. Исходя из аддитивности (независимой природы) этих составляющих в стационарном случае: $q = q_{изл.} + q_{мол.} + q_{конв.} = const$, была предпринята попытка разделить эти три типа теплопередачи.

Согласно ранее проведенным опытам [2–3], выяснилось, что вспученный вермикулит — полупрозрачный материал [4], определен его $\lambda_{эфф}$ для разных фракций и температур с учетом ориентации частиц и его изменения после прокаливания при 1000 °С в течение 3 ч, что впоследствии заложило основу для выполнения расчетно-аналитической части работы.

Литература

1. **К.Н. Дубенецкий, А.П. Пожнин** Вермикулит. Стройиздат, Ленинградское отделение, 1971–176 с.
2. **А.В. Скурихин, А.В. Костановский** Определение коэффициента поглощения темовермикулита // «Приборы», 2019 №5 (227).
3. **А.В. Скурихин, А.В. Костановский, С.А. Маркелов** Установка для измерения коэффициента теплопроводности сыпучих огнеупоров стационарным методом (на примере вспученного вермикулита) // «Приборы» №10 (232), 2019.
4. **О.А. Сергеев, А.А. Мень** Теплофизические свойства полупрозрачных материалов М., Издательство стандартов, 1977, 288 с.

И.С. Миронов, А.В. Швыдкая; студ.; рук. Д.А. Бирюков (НИУ «МЭИ», Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО ОСАДКА НА НАГРЕВАЕМОЙ ПЛАСТИНЕ

Во многих отраслях промышленности среди всего используемого оборудования наибольший удельный вес принадлежит различным теплообменным аппаратам, предназначенным для нагревания и выпаривания. Вследствие этих процессов на теплопередающих поверхностях образуется осадок, снижающий показатели теплообмена. В частности, в пищевой промышленности данная проблема стоит наиболее остро. В процессе пастеризации молока спустя непродолжительное время образуется термический осадок.

Один из перспективных методов снижения образования термического осадка заключается в воздействии внешнего акустического поля на пристеночный слой жидкости. Например, в работе [1] показано, что с помощью «акустической» кавитации и ее разрушающего действия возможно эффективное удаление термического осадка. Ультразвуковое поле так же влияет и на образование термического осадка: возникает резонанс в пристеночном слое на теплопередающей поверхности, препятствующий образованию осадка.

В рамках данной работы была спроектирована и собрана установка для изучения влияния акустических колебаний на образование термического осадка на металлической пластине, погруженной в молоко.

Результаты исследования показали существенную разницу в образовании осадка с использованием акустического поля и без него и тем самым подтвердили актуальность данной работы.

Литература

1. **Шептун В.М.** влияние акустических колебаний на процесс теплообмена в аппаратах, работающих в условиях солеотложения.

В.С. Зюкин, асп.; рук. Е.П. Валуева, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ТЕПЛООБМЕН ПРИ КВАЗИСТАЦИОНАРНОМ ПУЛЬСИРУЮЩЕМ ЛАМИНАРНОМ ТЕЧЕНИИ В ПЛОСКОМ КАНАЛЕ

Характер влияния пульсаций расхода на теплоотдачу получил объяснение лишь недавно [1]. Оказалось, что при A>1 вблизи входа в обогреваемый участок канала наблюдается максимум отношения $\overline{\mathrm{Nu}}/\mathrm{Nu}_s(X)$.

Получение корректных результатов численного решения задачи о теплообмене при пульсирующем течении с A>1 возможно лишь при специальных условиях. Решение упрощается при расчете квазистационарного течения. В этом случае можно использовать подход, примененный в работе [2] — привлечь данные для стационарного течения. Проведены расчеты гидродинамики на начальном гидродинамическом участке плоского канала при пульсирующем течении в квазистационарной области. Для пульсирующего течения число Рейнольдса изменяется во времени по зависимости $\mathrm{Re}(\omega t) = \overline{\mathrm{Re}}(1 + A\cos(\omega t))$.

Решалась система уравнений движения, неразрывности и энергии для стационарного течения в плоском канале в приближении узкого канала. Расчеты проведены методом конечных разностей. В результате расчета получена зависимость для стационарного течения $\mathrm{Nu}_s(X)$ при граничном условии T_c=const.

Значение продольной скорости в каждый момент времени определяется числом Рейнольдса в этот момент. Справедливо соотношение; $\mathrm{Nu}(X,\omega t) = \mathrm{Nu}_s\left[X < U > (\omega t)\right]$ $X = x/\left[h\,\mathrm{Re}(\omega t)\right]$.

На зависимости $\overline{\mathrm{Nu}}/\mathrm{Nu}_s(X)$ наблюдается максимум, который несколько выше, чем полученный ранее для гидродинамически стабилизированного течения.

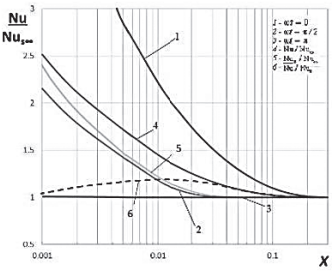


Рис 1. Изменение числа Нуссельта по длине канала A=5 .

Литература

1. **Валуева Е.П., Пурдин М.С.** Гидродинамика и теплообмен при пульсирующем с большими амплитудами колебаний ламинарном течении в каналах // Теплофизика и аэромеханика. 2018. №5.
2. **Валуева Е.П., Пурдин М.С.** Теплообмен при ламинарном течении в прямоугольных каналах // Теплофизика и аэромеханика. 2016. №6. С. 893–904.

А.С. Киселев, студ.; рук. Ю.А. Кузма-Кичта, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРИСТЫХ МИКРО- И НАНОМАСШТАБНЫХ ПОКРЫТИЙ

Интенсивность охлаждения поверхностей нагрева при кипении можно улучшить с помощью покрытий [1]. Оценить эффективность покрытий можно, определив их проницаемость [2]. Целью работы является получение зависимости высоты подъема жидкости от коэффициента проницаемости. В работе исследованы образцы с МДО-покрытием, микропористым покрытием, с покрытием из наночастиц и из наночастиц и агломератов [3]. Проницаемость покрытий определена с помощью уравнения Кармана-Козени. Был проведен расчет высоты подъема по формуле Жюрена для МДО и микропористого покрытия. Согласно полученным данным высота подъема увеличивается с ростом коэффициента проницаемости (рис. 1).

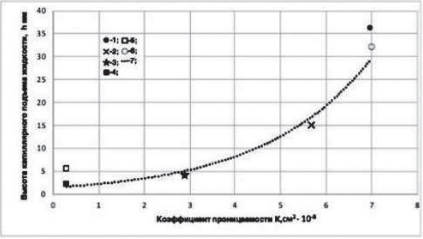


Рис. 1. Зависимость высоты подъема жидкости от коэффицента проницаемости
1 — микропористое покрытие, 2 — наночастицы с агломератами,
3 — наночастицы, 4 — МДО, 5, 6 — расчет по формуле Жюрена
для МДО и микропористого покрытия, 7 — аппроксимация

На рисунке показана прерывистой линией аппроксимации опытных данных: $h = 1{,}48e^{0{,}43K}$, а также расчет высоты подъема по формуле Жюрена. Оценка коэффициентов проницаемости исследованных покрытий согласуется с данными [2].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-08-01109.

Литература

1. **Дзюбенко Б.В., Ю.А. Кузма-Кичта, А.И. Леонтьев, И.И. Федик, Л.П. Холпанов** Интенсификация тепло- и массообмена на макро-, микро- и наномасштабах. ЦНИИАТОМИНФОРМ. 2008. С. 530.
2. **Р. Коллинз** «Течение жидкостей через пористые материалы», 1961, 349с.
3. **В.М. Жуков, Ю.А. Кузма-Кичта, А. В Лавриков, К.И. Белов, В.А. Леньков** «Интенсификация теплообмена при кипении различных жидкостей на сферах с покрытием сформированным методом микродугового оксидирования (МДО)» Изд. «Наука и технологии». 2017 г. 537-543с

А.В. Катасонов студенты; рук. Е.В. Цепляева, к.т.н. доцент (НИУ «МЭИ»)

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОХИМИЧЕСКИХ АККУМУЛЯТОРОВ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

По мнению многих ученых, будущее энергетики мира и России в частности за возобновляемыми источниками энергии. Так как ВИЭ сильно зависят от условий окружающей среды, то их эффективное использование невозможно без достаточно емких аккумуляторов энергии. Одним из таких видов аккумуляторов является аккумулятор давления.

Работа аккумулятора давления заключается в том, что воздух под большим давлением закачивают под землю, в большой резервуар (обычно это месторождение газа), во время избытка электроэнергии, далее этим воздухом вращают турбину, вырабатывая электроэнергию, во время дефицита энергии. Главная проблема заключается в том, что воздух после компрессора нагревается, и тепло рассеивается в атмосферу, а при расширении газа, его необходимо нагреть, сжигая газ.

Решением данного вопроса является термохимический аккумулятор тепла, который был бы способен с минимальными потерями и достаточно долгое время хранить тепловую энергию. За счет эндотермической реакции и разделения элементов, мы можем хранить очень долгое время тепло и при необходимости запустить экзотермическую реакцию. Возможными элементами реакции являются: гидрооксид железа, с температурой реакции 150 °C [1], сульфат магния, с температурой реакции 122 °C [1], карбонат железа, с температурой реакции 180 °C [1].

Таким образом существует возможность использовать данный вид аккумулятора не прибегаю к сжиганию углеводородов.

Литература

1. «Краткий справочник физико-химических величин» под редакцией К.П. Мищенко и А.А. Равделя, Л.: Химия, 1974 г

А.В. Павлов, П.Г. Бобылев, студенты;
рук. С.З. Сапожников, д.т.н., проф. (СПбПУ, Санкт-Петербург)

ИССЛЕДОВАНИЕ КИПЕНИЯ НЕДОГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ ГРАДИЕНТНОЙ ТЕПЛОМЕТРИИ

Изучение теплообмена при кипении до настоящего времени было затруднено отсутствием термостойких и быстродействующих датчиков теплового потока. Впервые, эксперимент с применением гетерогенных градиентных датчиков теплового потока (ГГДТП) для изучения теплообмена при кипении недогретой воды на поверхности шара из сплава ВТ22 проводились на кафедре СПбПУ «Теплофизика энергетических установок» в 2018 году [1].

В последующих экспериментах, для снижения влияния ГГДТП на поле температур, был увеличен диаметр шара, для снижения влияния датчика на градиент температур. В эксперименте использовался ГГДТП из новой композиции медь+никель, отградуированные на вакуумном стенде [2].

В работе получены распределения плотности теплового потока и коэффициента теплоотдачи (КТО) по поверхности шара. Эксперименты проводились в воде с температурой 25 °С. Проведена серия экспериментов с начальной температурой шара 350…500 °С. Шар проворачивался вокруг оси, что позволило получить значения плотности теплового потока и КТО при разных различных угловых координатах.

Эксперименты визуализировались с помощью высокоскоростной видео камеры Evercam 1000–4-М. Видеозаписи позволили сопоставить значения плотности теплового потока с формированием паровой фазы в виде пленки и пузырей.

Результаты работы показали, что значение средней плотности теплового потока и среднего КТО превышает первую критическую плотность теплового потока в 1,5…2 раза в ряде случаев.

Литература

1. **С.З. Сапожников, Митяков В.Ю., Митяков А.В. и др.** Экспериментальное исследование пленочного кипения недогретой воды методом градиентной теплометрии // Письма в ЖТФ. 2019. Т. 45. №6.
2. **В.Ю. Митяков, А.В. Павлов, П.Г. Бобылев.** Создание и градуировка первичных преобразователей на основе композиции медь-никель // Неделя Науки СПбПУ 2019: 29-ая Всерос. конф.: СПбПУ, 2019.

Е.С. Иванова, студ.; рук., О.Н. Кабаньков к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОНАПОРНЫХ КОНТУРОВ ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ПРИ ОДНОФАЗНОМ ДВИЖЕНИИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

В последнее время, в частности применительно к системам пассивного послеаварийного охлаждения атомных энергетических установок, значительно возросло число публикаций связанных с исследованиями процессов гидродинамики и теплообмена в устройствах с естественной циркуляцией от момента запуска до выхода на стационарный режим работы, т.н. стартовых режимов. На начальной стадии в контуре реализуется режим однофазной конвекции при относительно слабом движущем напоре. В то же время, несмотря на многолетние исследования систем с естественной циркуляцией для инженерной практики для низконапорных течений, возникающих под действием термогравитационных сил, до сих пор не предложено обоснованных рекомендаций для расчета трения и теплообмена.

Представлены результаты экспериментального исследования течения и теплообмена при однофазной конвекции в контуре естественной циркуляции жидкостей с существенно различающимися теплофизическими свойствами — воды и перфторгексана (FC-72) в диапазоне плотностей тепловых потоков 3–25 кВт/м^2. Измерены скорости циркуляции и продольные распределения температуры обогреваемой стенки в подъемной секции контура — вертикально установленной электрообогреваемой трубе с круглым поперечным сечением.

Применительно к полученному массиву опытных данных выполнены одномерные расчеты течения и теплообмена. Трение и теплоотдача рассчитывались в соответствии с рекомендациями Б.С. Петухова, А.Ф. Полякова для случая однонаправленного воздействия вынужденной и естественной конвекции. Также, в соответствии с конструкцией, учитывалось одновременное формирование по длине обогреваемой секции гидродинамического и теплового пограничных слоёв. При малых плотностях теплового потока на стенке расчётные значения температуры стенки в обогреваемой секции оказались заметно ниже экспериментальных (то есть расчет дает завышенные значения скорости циркуляции). С увеличением плотности теплового потока расхождение между расчётными и экспериментальными зависимостями температуры стенки от продольной координаты уменьшается. Таким образом, однофазное течение в контуре естественной циркуляции начинает приобретать свойства вынужденного течения с доминирующим влиянием термогравитации.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-08-01044а

Е.А. Кустова, А.С. Киселёв, Е.А. Кулешов, студ.;
рук: Ю.А. Кузма-Кичта, д.т.н., проф., А.В. Лавриков, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА УРАВНЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЁТА КРИТИЧЕСКОЙ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ПРИ КИПЕНИИ В МИКРОКАНАЛЕ

Проблемы отвода тепла от микрореакторов и миниатюрных электронных компонентов крайне актуальны. В [1] исследована теплоотдача при кипении в прямоугольном микроканале с размерами 13,5×3×0,2 мм. и получены данные по критическим тепловым нагрузкам в диапазоне массовых скоростей 100–300 кг/ (м^2*с). В [2] получены данные по критическим тепловым нагрузкам в микроканале с размерами 16×2×0.36 мм в диапазоне массовых скоростей 100–600 кг/ (м^2*с). В [3] получены данные по критической тепловой нагрузке для микроканала размерами, такими же, как в [1], в диапазоне массовых скоростей 200–600 кг/ (м^2*с) на усовершенствованной установке. Все данные приведены на рис. 1, там же показан расчёт критической тепловой нагрузки по модифицированной формуле (1) из [3]:

$$\frac{q*10^6}{r*(\frac{\sigma}{\nu'})} = A + B * Fr * (\frac{\rho''}{\rho'}),$$ где A=0, B=1.9.

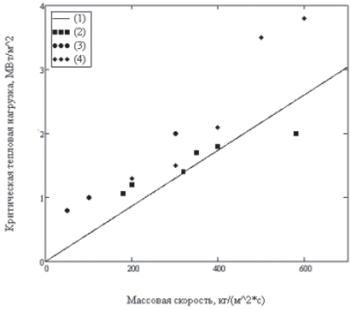


Рис. 1. Зависимость критической тепловой нагрузки от массовой скорости

(1) — Расчёт по формуле 1
(2) — Данные работы [3]
(3) — Данные работы [1]
(4) — Данные работы [2]

Работа была выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-08-00183.

Литература

1. **М.В. Шустов, Ю.А. Кузма-Кичта, А.В. Лавриков** Покрытие микроканала наночастицами — эффективный метод повышения критической тепловой нагрузки // Теплоэнергетика. 2017, №4, С. 72–79.
2. **V.V. Kuznetsov, A.S. Shamirzaev**, The influence of the Mass Flow Rate on the Critical Heat Flux during Subcooled Deionized Water Boiling in a Microchannel Cooling System //Technical Physics Letters, 2018, Vol. 44, No. 10, pp 938–941.
3. **Кустова Е.А., Кузма-Кичта Ю.А., Лавриков А.В., Кулешов Е.А.,** Уравнение для расчёта критической тепловой нагрузки в микроканале// Тез. Конф. «Тепломассообмен и гидродинамика в закрученных потоках», 16–18 октября 2019, С. 127.

Н.С. Иванов, студ.; рук: Ю.А. Кузма-Кичта, д.т.н., проф.,

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СВОЙСТВ ПОРИСТЫХ ПОКРЫТИЙ ИСПАРИТЕЛЯ ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОРА

Эффективность термостабилизатора сильно зависит от его термического сопротивления [1,2]. В работе [3] показано, что нанесение наночастиц оксида алюминия снижает термическое сопротивление модели термостабилизатора на 10–20% и повышает коэффициент теплоотдачи при испарении до 50%. В работе исследованы покрытия, транспортные свойства которых улучшены с помощью комбинации микро и наночастиц: оксида алюминия различного характерного размера, алмаза, карбида кремния и их комбинации. Измерены: высота капиллярного подъёма и краевой угол для данных покрытий. Проведена РЭМ-фотосъемка поверхностей. Данные измерений представлены на рис. 1. Установлено, что с увеличением характерного размера частиц, высота капиллярного подъема жидкости увеличивается. Максимальная высота подъема жидкости получена для слоя из наночастиц оксида алюминия с добавлением агломератов с размером от 100 нм до 250 нм.

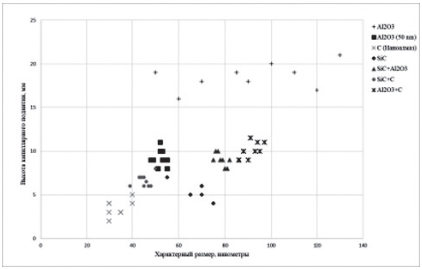


Рис 1. Высота капиллярного подъема жидкости в зависимости от характерного размера наночастиц Al_2O_3, SiC, C и их комбинаций

Литература

1. **Кузма-Кичта Ю.А., Иванов Н.С., Лавриков А.В., Штефанов Ю.П., Прокопенко И.Ф.** «Исследование методов уменьшения термического сопротивления составного термостабилизатора», Тепловые процессы в технике №10 2019 Т. 11, стр. 447
2. **Yu A Kuzma-Kichta N S Ivanov A V Lavrikov** «Reduction thermal resistance methods in the thermal stabilizer» Journal of Physics: Conference Series 1370 (2019) 012051 doi:10.1088/1742–6596/1370/1/01205
3. **Dzyubenko B.V., Kuzma-Kichta Ya.A., Leontiev A.I., Fedik I.I., Kholpanov L.P.**, «Intensification of Heat and Mass Transfer on Macro-, Micro-, and Nanoscales», Begell House, ISBN: 978-1-56700-284-3

И.С. Миронов, студ.; рук-ль Д.А. Бирюков к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО ОСАДКА В ОБОГРЕВАЕМОМ КАНАЛЕ

Образование осадка на теплопередающих поверхностях, вероятно, является одной из основных проблем при эксплуатации теплообменных аппаратов. В частности, в пищевой промышленности данная проблема возникает при пастеризации молочных продуктов. Образующийся спустя непродолжительное время термический осадок приводит к снижению температурного напора и увеличению гидравлического сопротивления установки.

Одним из возможных методов борьбы с образованием осадка является воздействие ультразвукового поля на теплопередающую поверхность. Одним из возможных проявлений воздействия внешнего акустического поля на жидкость является возникновение акустических течений, которые могут возникать вблизи твердых поверхностей. Взаимодействие турбулентных пульсаций с наложенными колебаниями внешнего акустического поля возможно в том случае, когда частота наложенных колебаний совпадает с частотой турбулентных пульсаций, соответствующей малым волновым числам. Так же, было замечено, что при распространении колебаний в трубе распределение их энергии происходит неравномерно, поскольку максимум колебательной скорости смещается к стенке трубы. [1]

Для исследования влияния ультразвука на процесс отложение термического осадка был спроектирован и собран теплообменный аппарат, позволяющий производить исследования как с наличием акустического поля, так и без него. Теплопередающая поверхность выполнена плоской, что позволяет количественно оценивать эффективность работы ультразвуковых волноводов.

Литература

1. **Шептун В.М.** Влияние акустических колебаний на процесс теплообмена в аппаратах, работающих в условиях солеотложения: дисс…. к.т.н.: 05.17.08. — Москва, 1984. — 141 с.

А.С. Власов, В.В. Сучок, Н.С. Жидков студенты; В.В. Сероштанов аспирант; рук. С.З. Сапожников, д.т.н., проф. (СПбПУ, Санкт-Петербург)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ И ТЕПЛООБМЕНА ВБЛИЗИ ПАРЫ КРУГЛЫХ ЦИЛИНДРОВ

Исследование теплообмена и течения актуально в современной теплофизике. Исследование нестационарных процессов обычно производится методом термоанемометрии, так как тонкая нить зонда термоанемометра обладает необходимым быстродействием. Градиентная теплометрия открывает новые возможности. Градиентные датчики теплового потока (ГДТП), разработанные в СПбПУ, имеют постоянную времени порядка 10 нс [1], что позволяет использовать их в изучении нестационарного конвективного теплообмена.

Предложено экспериментально исследовать течение и теплообмен вблизи пары цилиндров. Методика включает измерение плотности теплового потока методом градиентной теплометрии и визуализацию поля скорости методом PIV [2]. В исследовании в качестве модели использованы пара полых цилиндров, обогреваемых насыщенным водяным паром и установленных в рабочей камере аэродинамической трубы. На поверхности второго цилиндра установлен ГДТП на основе монокристаллического висмута. Установка имеет возможность менять расстояние между цилиндрами S перемещением второго цилиндра.

Результаты исследования показали, что предлагаемый метод совместного использования PIV и теплометрии для исследования нестационарного конвективного теплообмена, конкурентоспособен, и его необходимо развивать: например, при исследовании и оптимизации процессов теплообмена и гидродинамики вблизи элементов теплообменников, в проточных частях турбин, компрессоров и других энергетических установок.

Литература

1. **Сапожников С. З, Митяков Ю.В., Митяков А.В.** Основы градиентной теплометрии — СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012–203 с.
2. **Гусаков А.А., Греков М.А., Сероштанов В.В.** Аэродинамика и теплообмен на поверхности одиночного кольцевого ребра // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2018. Т. 11. №2. С. 151–164. DOI: 10.18721/JPM. 11214

В.Э. Зинуров, асп.; И.И. Хакимов, Р.Р. Мубаракшина, студенты;
рук. А.В. Дмитриев, д.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

РАЗРАБОТКА ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

В настоящее время вопросу повышения эффективности улавливания мелкодисперсных частиц из промышленных газовых потоков уделяется большое значение. Это связано с тем, что уловленный материал можно использовать вторично или в других производственных целях. Также в результате улавливания пыли из газов уменьшается загрязнение вод и земли. Стоит отметить, что существует большое количество различных аппаратов, предназначенных для очистки газов от твердых частиц (сухие, мокрые и др.). Выбор того или иногда аппарата зависит в первую очередь от типа производства. Однако, задача повышения эффективности улавливания частиц пыли остается всегда актуальной. Например, популярными очистительными аппаратами на промышленных предприятиях являются циклонные сепараторы. Они очищают газовые потоки от твердых частиц размером более 10 мкм зачастую с эффективностью выше 99%. Однако, если в потоке содержатся частицы пыли размером менее 10 мкм, то вероятность того, что они улетят в воздушный бассейн предприятия равна 90–99,9%. Вследствие этого для повышения эффективности улавливания мелкодисперсных частиц из газовых потоков, авторами данной работы был разработан прямоугольный сепаратор [1–2].

Устройство предлагается использовать в качестве последующий очистительной ступени после циклона. Оно представляет собой несколько рядов двутавровых элементов, которые заключены в корпус прямоугольной формы. Эффективность улавливания твердых частиц размером до 10 мкм из газовых потоков составляет не менее 50%.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (программа «УМНИК», договор № 13873ГУ/2019).

Литература

1. **Зинуров В. Э, Дмитриев А. В, Соловьева О. В, Латыпов Д.Н.** Исследование изменения эффективности очистки газового потока от мелкодисперсных частиц прямоугольным сепаратором при разной степени забивки дугообразных элементов пылью // Вестник Казанского технологического университета, 2019, Т. 22, №. 8, С. 42–46.
2. **Дмитриев А. В, Зинуров В. Э, Дмитриева О. С, Нгуен Ву Линь.** Улавливание мелкодисперсных частиц из газовых потоков в прямоугольных сепараторах // Вестник Иркутского государственного технического университета, 2018, Т. 22, №. 3 (134), С. 138–144.

П.А. Сардов, студ.; рук. И.А. Беляев, к.т.н. (ОИВТ РАН, Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СМЕШАННОЙ КОНВЕКЦИИ ПРИ ОПУСКНОМ МГД-ТЕЧЕНИИ В ТРУБЕ

Экспериментальные исследования гидродинамики и теплообмена, под воздействием магнитного поля, выполняются исследовательской группой МЭИ-ОИВТ [1]. Предполагаемые МГД-конфигурации, близкие к условиям реактора ТОКАМАК [2], изучались с использованием ртути в качестве модельного теплоносителя. Проведение детальных измерений, непосредственно изнутри потока, стало возможным благодаря технологии микротермопарных погружных зондов. Было обнаружено, что совместное влияние сильного поперечного магнитного поля и сил плавучести проявляется в виде крупномасштабных вторичных течений, сопровождающихся пульсациями температуры аномально большой амплитуды. Новые данные были получены и обработаны путем построения полей температуры и интенсивности температурных пульсаций. Измерения проводились при опускном течении ртути в круглой трубе под воздействием поперечного магнитного поля и неоднородного обогрева. В исследованном диапазоне режимных параметров было обнаружено полное подавление пульсаций температуры в любой точке экспериментального сечения при числах Гартмана более 800 (Рисунок 1). Односторонний обогрев является предельным случаем неоднородного и, первым приближением к наиболее близким условиям контуров охлаждения первой стенки ТЯР.

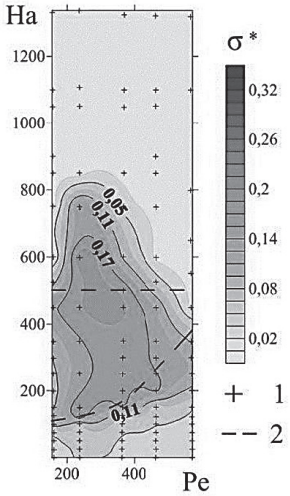


Рис. 1. Распределения безразмерной интенсивности пульсаций температуры в исследованном диапазоне режимных параметров, Gr=6•107. 1 — новые данные, 2 — границы РК-2.

Литература

1. **Батенин В.М.** Развитие экспериментальной базы исследований МГД-теплообмена перспективных ядерных энергоустановок // ТВТ. 2015. Т. 53. №. 6.
2. **Abdou M. et al.** Blanket/first wall challenges and required R&D on the pathway to DEMO //Fusion Engineering and Design. 2015. T. 100. C. 2–43.

В.А. Горелов, студент; рук. В.С. Охотин, д.т.н., профессор;
Е.В. Джураева, к.т.н., доцент. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТЕЙ ПО ОГРАНИЧЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ О СВОЙСТВАХ

Надежный расчет любого теплотехнического оборудования обеспечивается наличием достоверных термодинамических справочных данных, которые получаются экспериментальными и расчетными методами. Однако, достаточно часто возникает ситуация, когда имеющихся в литературе данных оказываются недостаточно, или они имеются, но в ограниченной области параметров состояния. Существует много жидкостей, для которых известны свойства только при атмосферном давлении или в состоянии насыщения. Разработке методов определения свойств таких жидкостей, но при давлениях, превышающих атмосферное давление, посвящено настоящее исследование.

В используемом методе расчета термодинамических свойств принималось допущение о прямолинейности изохор в области жидкости в диаграмме p-T. Была создана программа расчета термодинамических свойств жидкостей под давлением. Для проверки метода расчета в качестве эталонной жидкости был выбран толуол, подробно исследованный в [1].

Используя данные о термодинамических свойствах при атмосферном давлении, была рассчитана плотность жидкого толуола при температурах 200К, 250К, 300К и 350К при давлениях от 0,1 МПа до 100 МПа. При температурах от 250К до 350К и давлениях до 50 МПа отклонения рассчитанных значений плотности от данных, приведенных в [1], не превышали 0,1%, а при p = 100 МПа – 0,3%. При температуре 200К отклонения составили 0,15–0,2% при $p \leq 50$ МПа и лишь при p = 100 МПа достигают 0,33%. Указанные отклонения соответствуют погрешности экспериментальных данных о плотности жидкостей (в том числе, толуола) при таких же давлениях.

Работа поддержена РФФИ (грант №18-08-01343).

Литература

1. **Охотин В.С.** Экспериментальное и расчетно-теоретическое исследование технически важных жидкостей с целью создания уравнений и таблиц теплофизических свойств высокой точности: диссертация… доктора технических наук: 01.04.14. — Москва, 1987. — 275 с.:
2. **Охотин В. С, Разумейченко Л.А., Скородумов А.В.** Скорость звука жидкого толуола при атмосферном давлении // Тр. Курск. Гос.Пед. Ин-та. — 1986. — вып. 20. — с. 106–111.

М.А. Стахеева, студент; рук. В.В. Ягов, д.т.н,
профессор кафедры ИТФ (НИУ «МЭИ»)

ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНТУРА ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

В данной работе представлен гидродинамический расчет контура с естественной циркуляцией в двух устойчивых режимах для двух жидкостей. Найдены значения истинного расходного и объемного паросодержаний, а также скорости циркуляции во всех элементах контура. Имеется ряд полученных экспериментальных данных по анализу контура естественной циркуляции, которые использовались для сравнения с теоретически полученными расчетами.

Движение двухфазного потока имеет свою специфику. Она связана прежде всего с взаимодействием фаз между собой и со стенками, а также с изменениями в гидродинамике потока в силу фазовых превращений. При этом, даже в том случае, когда движение протекает адиабатически, не учитывать влияние фазовых превращений нельзя. В инженерной практике обычно используют эмпирические, в лучшем случае полуэмпирические расчетные соотношения, так как строгое математическое описание для реальных двухфазных систем в каналах, как правило, невозможно. Поэтому, многолетняя эксплуатация КЕЦ и успешное использование полуэмпирических методик расчета термодинамического состояния сочетаются с отсутствием точной информации об истинном объемном паросодержании, структуре потока и скорости циркуляции.

В основу гидравлического расчета КЕЦ положено равенство движущего напора и суммы гидравлических потерь во всем контуре:

$$\Sigma\, \Delta P_{потерь} = g(\rho' - \overline{\rho}_{см})h, \qquad (1)$$

где g — ускорение свободного падения; h — высота подъемного участка трубы от начала зоны обогрева; $\overline{\rho}_{см}$ — средняя истинная плотность смеси на этом участке; — среднее по длине истинное объемное паросодержание; ρ' — плотность жидкости.

Диапазон режимных параметров соответствовал данным экспериментальной работы [1]. В таблице 2 содержится информация по экспериментальным режимам, сопоставляемым с расчетом по методике настоящей работы.

Показано, что для условий низких приведенных давлений использование гомогенной модели дает удовлетворительные результаты для квазигомогенных режимов течения и модели кольцевого потока при высоких значениях истинного объёмного паросодержания.

Анализ доступных экспериментальных данных о потерях давления на трение в адиабатных двухфазных потоках в условиях нормальной и микрогравитации показал эффективность использования в расчетах приближенных физических моделей, учитывающих структуру двухфазного потока.

Табл. 2.

	q	$T_{вх}$	$\Delta T_{нед}$	$\delta_{(T)}$	$w_0^{эксп}$	$w_0^{расч}$	$\delta_{(w0)}$
	кВт/м^2	°C	°C	°C	м/с	м/с	%
Вода	72,4	97,2	3	1	0,6	0.52	13
	64,3	97,3	3	1	0.65	0.5	23
Перфторгексан	29,9	54	3	1,3	0,67	0,7	4
	24,9	53	4	1,5	0,7	0,69	1,5

Литература

1. **Зубов Н.О.** (2018) Закономерности процессов гидродинамики и теплообмена в контуре естественной циркуляции
2. **Лабунцов Д.А., Ягов В.В.** (2007) Механика двухфазных систем // М.: Издательский дом МЭИ.
3. **Зубов Н.О., Кабаньков О.Н., Ягов В.В., Сукомел Л.А.** (2017) Расчет сопротивления трения двухфазных потоков низкого давления на основе приближенных аналитических моделей // Теплоэнергетика. №12. С. 43–57

И.А. Тупотилов, А.С. Демидов, студ.; А.В. Захаренков, к.т.н, доц.;
рук. А.Т. Комов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА НА МОДЕЛИ ТВС С МИКРОТВЭЛАМИ

Перед атомной энергетикой стоят ряд основных проблем, такие как ядерная и радиационная безопасность реакторов, конкурентоспособность с тепловыми электрическими станциями, оснащенными парогазовыми установками (ПГУ), воспроизводство ядерного топлива, долговременное безопасное недорогое хранение радиоактивных отходов, а также нераспространение ядерного оружия [1].

Применение топлива в форме шаровых микротвэлов для атомной энергетики позволит решить или существенно ослабить влияние этих проблем. Шаровой микротвэл состоит из топливного ядра, покрытого защитной оболочкой. Оболочки разделяют топливо и теплоноситель и обеспечивают удержание продуктов деления ядер. Микротвэлы из-за малого размера (диаметр 0,6–4,2 мм) имеют высокую удельную площадь поверхности и характеризуются низкой температурой топлива в центре твэла. Тепловые переходные процессы в засыпках микротвэлов протекают быстро. Их оболочки не имеют швов, они прочные и стойкие, надежно удерживают продукты деления. В сборке микротвэлы размещаются между перфорированными чехлами. Последние исследования показали, что микротвэлы с оболочками из пироуглерода и карбида кремния могут найти применение в реакторах типа ВВЭР и ВВЭР на воде сверхкритических параметров.

На кафедре ОФиЯС в 2010 году собран и введен в эксплуатацию экспериментальный стенд для исследования гидродинамики и теплообмена в шаровых засыпках. Для проведения экспериментальных исследований была выполнена модернизация гидравлического контура, с целью установки в нем рабочего участка — масштабированной модели шаровой засыпки. Разработана система сбора и обработки информации, установлено необходимое измерительное оборудование (датчики расхода, давления, температуры). Были выполнены экспериментальные исследования по изучению гидродинамики и теплообмена при различных режимных параметрах. На основе полученных экспериментальных данных, были построены зависимости потерь давления от расхода теплоносителя, а также выполнены расчеты значений коэффициента гидравлического сопротивления.

Литература

1. **Понамарев-Степной Н. Н и др.** Перспективы развития микротвэлов в ВВЭР // Атомная энергия, Т. 86, №6,1999. — С. 443–449.

Секция 42.
ТЕХНИКА И ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Председатель секции — Крюков Алексей Павлович
Секретарь секции — Сидоров Александр Андреевич

Э.Д. Филатова, студ; рук. Т.А. Алексеев, к.н.т. доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ПРОФИЛЕЙ ЛОПАТОК НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ДЕТАНДЕРА

Детандеры предназначены для организации процесса расширения газа с целью генерации холода в циклах низкотемпературных установок.

а)

б)

Рис. 1. а) Модуль рабочего колеса; б) Конструкция направляющего аппарата и турбины детандера: 1 — улитка, 2 — рабочее колесо, 3 — выходной диффузор, 4 — продольное ребро, а — кольцевой канал.

Важнейшую роль конструкции турбодетандера осуществляют лопасти рабочего колеса и направляющего аппарата.

Очень сложной и ответственной задачей правильно подобрать профиль лопатки для получения максимального лопаточного КПД и минимальных потерь от утечки рабочего тела. Для проведения расчета характеристик детандера, а затем и профиля рабочего колеса необходимы следующие параметры: энтальпия рабочего тела на входе в ступень [кДж/кг], располагаемый теплоперепад на ступень [кДж/кг], давление на входе в ступень [МПа], удельный объем рабочего тела на входе в ступень [м^3/кг], расход рабочего тела через ступень [кг/с], реактивность в среднем сечении, угол альфа на колесе [°],средний диаметр сопловой диафрагмы [м], средний диаметр рабочего колеса [м], высота сопловых лопаток [м], высота рабочих лопаток [м], коэффициент скорости сопловых каналов, коэффициент скорости рабочих каналов, теплоемкость рабочего тела Ср [кДж/ (кг*К)]. Был проведен расчет профилей рабочего колеса для турбодетандера, использующегося в низкотемпературной установке холодопроизводительностью 1,978кВт.

Литература

1. **Розеноер Т.М.** Расчет Турбодетандера: Методические указания по курсу «Турбомашины низкотемпературной техники» — М.: Изд-во УНЦ МГТУ им. Н.Э. Баумана «Криоконсул», 2002 — 80 с., ил.
2. **Новотельнов В.М.** Криогенные машины: Учебник для вузов по спец. «Техника и физика низких температур» — Спб.: Политехника, 1991. — 335 с.: ил.

В.О. Майоров, асп.; рук. А.К. Ястребов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ НЕРАВНОВЕСНОГО АЭРОЗОЛЯ

В настоящее время криогенные жидкости рассматриваются в качестве альтернативы существующим видам топлива для двигателей космических аппаратов, движущихся в околоземной орбите. Однако для проектирования таких силовых установок необходимо решить задачу о тепло-и массобмене криогенной жидкости в области пониженного давления.

При впрыскивании криогенного аэрозоля в вакуум капли жидкости являются сильно перегретыми по отношению к окружающей среде, что приводит к интенсивному испарению. В тоже время, образовавшийся пар может конденсироваться на поверхности капель. В некоторых случаях возможно образование твердой фазы [1], что в свою очередь негативно сказываться на работоспособности ракетного двигателя.

Так как в объеме находится большое число капель, имеющих разный размер и температуру, для описания процессов тепло- и массопереноса целесообразно использовать кинетическое уравнение для функции распределения капель по размерам и температурам, решение которого позволит вычислить макроскопические характеристики аэрозоля, такие как числовая плотность капель, их средний радиус и температуру. Эта информация имеет высокую прикладное значение и позволит определить оптимальный режим впрыска криогента для запуска ракетного двигателя.

В работе рассматривается пространственно однородная задача. В замкнутую камеру поступают капли криогенной жидкости с заданными параметрами (температурой и распределением по размерам). Температура и давление в камере в начальный момент времени известны. Как правило, размер капель сопоставим или меньше длины свободного пробега, поэтому потоки массы и тепла на поверхности раздела фаз вычисляются по соотношениям для свободно молекулярного режима (Kn>>1). Так же математическое описание включает в себя уравнение энергии для газообразной фазы, уравнения баланса массы компонентов двухфазной среды и уравнение состояния идеального газа. Для решения кинетического уравнения используется метод прямого численного решения.

В качестве результатов представлены временные зависимости моментов функции распределения капель по размерам и температурам.

Литература

1. **Luo M., Haidn O.J.** Characterization of Flashing Phenomena with Cryogenic Fluid Under Vacuum Conditions // J. Propul. Power. 2016. Vol. 32. No. 5. P. 1253–1263.

В.А. Новиков аспирант, К.В. Федорова; рук. А.П. Крюков, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЕВИТИРУЮЩИХ КАПЕЛЬ НА ФОТОГРАФИИ И ВЫЧИСЛЕНИЯ ИХ ОБЪЕМА

Основной целью работы является создание программного решения для автоматизированного обнаружения и расчета объема левитирующих капель на фотографиях, сделанных в рамках проведения экспериментов по испарению жидкостей в условиях приближенных к состоянию невесомости.

Состояние акустической левитации реализуется с помощью модернизированной установки созданной в Бристольском университете [1]. Теоретическая основа реализуемого процесса рассмотрена в [2]. В процессе проведения эксперимента измеряется изменение объема подвешенных в стоячей акустической волне капель жидкости с течением времени. Измерения проводятся на основе массива фотографий, снятых через равный интервал времени. В процессе вычисления принимается, что объем капли может быть вычислен по формуле объема эллипсоида. Температура, атмосферное давление и влажность воздуха известны.

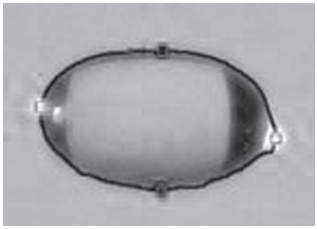


Рис. 1. Результат обнаружения капли на фотографии с последующим построением замкнутого контура и выбором необходимых для вычисления

С использованием языков программирования Python (библиотека Opencv) и C#, было создано приложение, автоматизирующее процесс обработки снимков. Программа находит на снимках каплю, очерчивает вокруг нее замкнутый контур и находит на нем необходимые для вычисления объема капли точки. После чего она вычисляет объем капли и строит график его изменения с течением времени.

Литература

1. **Asier Marzo, Adrian Barnes, Bruce W. Drinkwater.** TinyLev: A multi-emitter single-axis acoustic levitator // J. REVIEW OF 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.

А.Д. Соловьева, студ.; рук А.К. Ястребов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ МЕЖФАЗНОГО ТЕПЛООБМЕНА НА ОБЪЕМНУЮ КОНДЕНСАЦИЮ В ЗАПЫЛЕННОМ ПАРОГАЗОВОМ ПОТОКЕ

Объемная конденсация в парогазовом потоке в условиях применения ее в реальности часто осложняется наличием в потоке гетерогенных центров конденсации, например, частиц пыли. Очистить парогазовую смесь от примесей технически очень сложно, поэтому расчетное исследование процессов объемной конденсации с учётом запыленности потока является интересным и необходимым для возможного применения его в дальнейшем на практике.

В [1] было получено решение задачи об объемной конденсации в запыленном парогазовом потоке в однотемпературном приближении: температуры парогазовой смеси, капель и пылинок считались одинаковыми. Однако размер пылинок может на несколько порядков превышать размер капель, образовавшихся при гомогенной нуклеации, и их температура может отличаться от температуры газовой фазы. Вследствие этого для пылинок и образовавшейся на них жидкости использование однотемпературной модели может быть некорректным, даже когда для гомогенных капель ее применение оправдано.

В данной работе используется двухтемпературная модель для объемной конденсации в запыленном потоке. Постановка задачи отличается от рассматривавшейся в [1] отказом от допущения о равенстве температуры пылинок и жидкости на них и температуры газовой фазы, при этом температура гомогенных капель равна температуре газовой фазы. В связи с этим математическое описание включает два уравнения энергии, одно из которых записано для газовой фазы и гомогенных капель, а второе — для пылинок и жидкости на них. Для описания кинетики конденсации используются два кинетических уравнения для функции распределения капель по размерам, первое уравнение описывает гомогенную конденсацию, второе — гетерогенную конденсацию на частицах пыли.

Сравнение результатов численного решения, полученных с использованием одно- и двухтемпературной модели, позволит точнее определить границы применимости однотемпературного приближения. Количественные данные будут представлены на конференции.

Литература

1. **Корценштейн Н.М., Ястребов А.К.** Объемная конденсация в запыленном парогазовом потоке с учетом распределения пылинок по размерам // Коллоидный журнал, 2016. Т. 78, №4. С. 444–449.

И.С. Городнов, асп.; рук. В.И. Могорычный, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ КРИОСТАТА РАСТВОРЕНИЯ ^{3}HE/^{4}HE ДЛЯ УСКОРИТЕЛЯ «ELSA»

Для исследования поляризационных эффектов в физике элементарных частиц широко применяются поляризованные мишени замороженного типа (Frozen Spin Target, FST) [1], основным узлом которых являются рефрижераторы растворения ^{3}He/^{4}He. Применение именно этого типа криостатов обусловлено возможностью достижения сверхнизких температур (ниже 50 мК) при достаточной для проведения эксперимента холодопроизводительности, а также возможностью проведения непрерывных длительных экспериментов (до нескольких месяцев). Стоимость проведения экспериментов с поляризованными мишенями замороженного типа, сложность создания установок FST, в частности криостатов растворения, сильно ограничивают распространение поляризационных исследований.

Для ускорителя «ELSA», университета г. Бонн, Германия, силами Сектора Низких Температур Лаборатории Ядерных Проблем Объединённого Института Ядерных Исследований, г. Дубна, создан рефрижератор растворения ^{3}He/^{4}He как главная часть FST. Наладка установки и запуск в эксплуатацию будут произведены в 2019 г.

Целевые параметры криостата растворения:

- Температура образца <30 мК, при размере образца L=20 мм, Ø=20 мм.
- Холодопроизводительность на температурном уровне 300 мК >30 мВт при циркуляции ^{3}He ~10 ммоль/с.
- Потребление жидкого ^{4}He <4 л/ч.

На базе данного криостата, помимо основного его предназначения, готовится проведение теплофизических экспериментов и исследование работы отдельных его узлов.

Конструкция данного криостата является оригинальной, при его разработке применялось большое количество эмпирических данных и допущений в проектировании узлов, и в особенности сложных многопоточных теплообменников в широком интервале температур.

В данном докладе будут представлены первые экспериментальные данные по испытанию криостата растворения и его отдельных узлов.

Литература

1. **Усов Ю.А.** Разработка и создание криогенных установок для мишеней с замороженной поляризацией ядер водорода и дейтерия: автореферат диссертации на соискание учёной степени к. т.н. по специальности: 01.04.01, Дубна, 2000.

И.А. Ячевский, асп.; рук. П.В. Королев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ ПРОЦЕССОВ КИПЕНИЯ He-II НА ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ НАГРЕВАТЕЛЕ В СВОБОДНОМ ОБЪЕМЕ И В СТЕСНЁННЫХ УСЛОВИЯХ

На кафедре низких температур НИУ «МЭИ» в течение многих лет проводятся исследования процессов тепло- и массопереноса при кипении сверхтекучего гелия (He-II). Для этих целей кафедре НТ была спроектирована и смонтирована установка с экспериментальной ячейкой, описание которых представлено в [1]. Ранее на этой установке были получены данные по кипению гелия-II на цилиндрическом нагревателе в «большом» объеме, в стесненных условиях в полости внутри ячейки с пористой оболочкой, а также в ячейке, частично сообщающейся с объемом сверхтекучего гелия в сосуде Дьюара.

Для дальнейшего изучения процесса пленочного кипения гелия-II и выявления влияния пористой оболочки необходимо получить кадры видеозаписи высокого качества и точные показания приборов при максимально схожих режимных параметрах эксперимента. По этим причинам для новой серии опытов была собрана пара новых идентичных цилиндрических электронагревателей сопротивлением ~105 Ом. Каждый нагреватель представляет собой керамический стержень с обмоткой из тонкой нихромовой нити, помещенный в латунный кожух. На поверхность кожуха крепится высокоточный низкотемпературный терморезистивный датчик, показания которого регистрируются с помощью специализированного АЦП. Один из нагревателей помещен внутрь ячейки с толстостенной цилиндрической пористой оболочкой, а второй находится в объеме He-II, заполняющем сосуд Дьюара.

Особенностью выполненного эксперимента по сравнению с предыдущими была возможность наблюдать кипение поочередно на обоих нагревателях, находящихся в различных условиях, но при одинаковых режимных параметрах эксперимента. Серии опытов проводились для разных глубин погружения нагревателей и различных значений тепловой нагрузки. Получен большой объем данных для «шумового» режима кипения с замкнутой паровой пленкой и кипения с «раскрытием» и отрывом пленки от нагревателя. Более подробно результаты будут представлены в докладе на конференции.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект 19-19-00321).

Литература

1. **Королев П.В., Крюков А.П., Пузина Ю.Ю.** Экспериментальное исследование кипения сверхтекучего гелия (He-II) внутри пористого тела. // Прикладная механика и техническая физика. 2017. Т. 58. №4. С. 126–134.

А.А. Сидоров асп.; рук. А.К. Ястребов, к.т.н., доц.(НИУ «МЭИ»)

CFD-ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕМНОЙ КОНДЕНСАЦИИ В ДИФФУЗОРЕ ТУРБОДЕТАНДЕРНОГО АГРЕГАТА

Методами вычислительной гидродинамики (Computational fluid dynamics) [1] проведено исследование объемной конденсации при сверхзвуковом течении парогазовой смеси через диффузор. Решение задачи для одномерного стационарного случая было получено в [2], однако в целях создания наглядной методики моделирования турбодетандерных агрегатов рассматривается трехмерная постановка задачи.

Задача решается в трехмерной, нестационарной постановке. Рассматривается течение смеси пар-газ, в которой в качестве конденсирующегося пара используется вода, а в качестве газа-носителя — азот, течение при этом рассматривается в сверхзвуковой части сопла. Граничные условия на входе в диффузор задаются в виде условия pressure-inlet (давление смеси считается известным), на выходе — в виде условия outflow (истечение без дополнительных условий).

Посредством UDF-файлов стандартный решатель был функционально расширен: была подключена классическая теория нуклеации Френкеля-Зельдовича, добавлены выражения для расчета скорости роста и критического радиуса капель. Расчеты проводились для нескольких наборов входных данных. Получены зависимости температуры, давления, скорости нуклеации, степени пересыщения, качественно согласующиеся с данными экспериментов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-38-90247.

Литература

1. **J.D. Anderson, 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.

А.А. Сидоров асп. И.О. Вавилов студ.;
рук. А.К. Ястребов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

CFD-ИССЛЕДОВАНИЕ ТУРБОДЕТАНДЕРНОГО АГРЕГАТА

С развитием новых технологий, в частности, трехмерного компьютерного моделирования процессов теплообмена и гидродинамики методами конечных объемов (CFD) появилась возможность проектировать сложные машины и агрегаты с существенно меньшими затратами. Классический подход к проектированию подразумевает, в основном, достаточно сложный и затратный итерационный процесс, включающий в себя, как правило, упрощенное моделирование физических процессов, а также экспериментальные исследования для внесения корректировок. Методы CFD этих недостатков лишены, и позволяют с высокой точностью моделировать многофазные и многокомпонентные потоки, агрегаты со сложной пространственной геометрией, учитывать трудозатратные для классических методов физические явления, а также обладают высокой наглядностью, позволяющей оптимизировать узлы и компоненты в ходе визуального контроля.

Рассматривается нестационарная, пространственно неоднородная задача расширения газа в турбодетандерном агрегате в трехмерной постановке. Целью настоящей работы является верификация расчетной методики, а именно достижение качественного и количественного согласования с данными, полученными в ходе эксперимента. Основной задачей считается построение расчетных характеристик турбодетандера, полученных методами CFD, в виде зависимостей температуры на выходе из диффузора от частоты вращения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-38-90247.

Литература

1. **J.D. Anderson**, Jr. Computational Fluid Dynamics. The basics with applications. McGraw-Hill Science/Engineering/Math; 1 edition (February 1, 1995).
2. **Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.** Гидродинамика. Издание 6-е. М.: Физматлит, 2015. 728 с. (Теоретическая физика, т. VI).

Секция 43.
НАНОТЕХНОЛОГИИ

Председатель секции — Дмитриев Александр Сергеевич
Секретарь секции — Макаров Петр Георгиевич

Г.В. Веткин, студ.; рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ И МОРФОЛОГИИ ОСАЖДЕНИЙ ПРИ ВЫСЫХАНИИ КАПЕЛЬ МУЛЬТИКОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ

В настоящее время большой интерес представляют исследования испарения капель и формирование структур наноколлоидных растворов на подложках [1].

Целью данной работы являлось изучение морфологии осаждений при высыхании капель коллоидов, состоящих из двух и трех компонент наночастиц, в нормальных условиях без нагрева. Изучение осаждений проводилось в реальном времени во время испарения и по его окончанию. Фиксировались визуальные результаты с помощью оптического микроскопа, которые в дальнейшем были проанализированы. Для сравнения отличия морфологии мультиколлоидов от моноколлоидов также производился анализ осаждений для каждых частиц отдельно. Кроме того, проведены расчеты высоты и кривизны капель по упрощенной модели [2], которые сравнивались с экспериментальными результатами.

Исследуемые частицы: TiO_2 (17 нм); наноалмазы (8–12 нм); графеновые нанохлопья (ширина 1–10 мкм, толщина 10 нм). Рассмотрены мультиколлоиды всех возможных комбинаций указанных частиц. Растворителем являлась дистиллированная вода.

По результатам исследования было установлено, что для мультикомпонентных коллоидов при высыхании характерно образование кольцеобразных структур с несколькими сегментами различных концентраций, что связано с депинингом контактной линии во время испарения и дальнейшим схлопыванием капли. Для мультиколлоида наноалмазов с TiO_2 наблюдалась неоднородная граница между осевшими на подложку частицами во время формирования зоны при депининге. У мультиколлоида графеновых нанохлопьев с TiO_2 было обнаружено уменьшение визуальной концентрации частиц TiO_2 после испарения капли.

Работа поддержана Российским научным фондом (проект №17-19-01757).

Литература

1. **Yang X., Li C., Sun, Y.** From multi-ring to spider web and radial spoke: Competition between the receding contact line and particle deposition in a drying colloidal drop. Soft Matter. 2014, 10, 4458–4463.
2. **Wray A., Papageorgiou D., Craster R., Sefiane K., Matar O.** Electrostatic suppression of the «coffee stain effect» // Langmuir. 2014. 30. 5849–5858.

В.С. Волгин, асп.; рук. А.Ф. Гиневский к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА С ИЗМЕНЯЕМЫМ ЧИСЛОМ МОДУЛЕЙ

Солнечный термоэлектрический генератор (СТЭГ) — энергетическая установка, в которой полученное из солнечного излучения тепло используется для генерации электричества на термоэлектрических модулях (ТЭМ), за счет создания градиента температур на сторонах модуля.

Рис. 1. Вид испытательного стенда

На сегодняшний день исследователями предлагается целый ряд конструкций СТЭГ на базе солнечных вакуумных трубок [1]. Однако для дальнейшего развития концепции необходимо понимание того, как влияют те или иные конструктивные особенности на характеристики установки. При различном соотношении количества ТЭМ к площади адсорбирующей поверхности создаются различные температурные условия, и так как мощность генерации электричества имеет квадратичную зависимость от создаваемого перепада, интегральные энергетические характеристики установки могут изменяться.

На основе анализа научных работ, предлагается оригинальная конструкция СТЭГ, позволяющая изменять свою конфигурацию за счет изменения количества ТЭМ в установке. Целью данной работы является анализ работы СТЭГ при разном соотношении количества ТЭМ к количеству вакуумных трубок в рамках одной конструкции. Были получены зависимости средней температуры перепада между сторонами ТЭМ, средняя генерируемая мощность на ТЭМ и общая генерируемая электрическая мощность на СТЭГ.

Литература

1. **Okanimba Tedah, I. A., Maculewicz, F., Wolf, D. E., & Schmechel, R.** Thermoelectrics versus thermophotovoltaics: two approaches to convert heat fluxes into electricity // Journal of Physics D: Applied Physics, 52 (27), 2019.

С.С. Журавлёв, студент; рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»); Д.Д. Бабенко, асп. научн. конс. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЦЕССЫ СМАЧИВАНИЯ И ИСПАРЕНИЯ ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТЕРМОИНТЕРФЕЙСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Одна из основных целей работы — изучение свойств термоинтерфейсных материалов для интенсификации теплообмена и повышения эффективности систем охлаждения в микроэлектронике, сильноточной электронике и оптоэлектронике. Физико-химические и термогидродинамические свойства такого рода поверхностей важны для более эффективного сброса тепла в системах охлаждения, использующих капельный метод охлаждения.

В данной работе представлены исследования в области теплофизики поверхностей функциональных термоинтерфейсных материалов (ТИМ) [1–4]. Проведены измерения контактных углов для различных нанокомпозитных материалов, включая нанокомпозиты на основе графеновых хлопьев, наночастиц нитрида бора и нитрида алюминия; в качестве рабочей жидкости использовалась вода. Получены новые экспериментальные данные по изучению и анализу гидродинамических и теплофизических свойств различных термоинтерфейсных материалов при высоких температурах, включая эффект Лейденфроста.

В работе содержатся методики, схемы экспериментальных установок и результаты исследований материалов (ТИМ) и их свойств.

Работа поддержана Российским научным фондом (грант №17-19-01757).

Литература

1. **Дмитриев А.С.** Введение в нанотеплофизику. М.: БИНОМ, 2015. 756 с.
2. **Khan M.F., Balandin A.A**. Graphene-multilayer graphene nanocomposites as highly efficient thermal interface materials. Nano Lett. 12 (2). 2012. P. 861–867.
3. **D.D. Babenko, A.S. Dmitriev, P.G. Makarov and I.A. Mikhailova.** On thermophysical effects on the surface of functional nanostructured materials obtained with the application of femtosecond laser pulses. Journal of Physics: Conf. Series **891** (2017) 012360.
4. **D.D. Babenko, A.S. Dmitriev, V.V. Mikhailov, I.A. Mikhailova.** Physical features of Leidenfrost effect on the surface of a grapheme nanocomposite for the problems of thermal and nuclear energy. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering **447** (2018) 012044.

Д.Д. Бабенко, асп.; рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ СВОЙСТВ ТЕРМОИНТЕРФЕЙСНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА БАЗЕ ГРАФЕНОВЫХ НАНОКОМПОНЕНТ

В последние годы наблюдается значительный рост производительности устройств микро- и оптоэлектроники, при этом всё более серьезной становится проблема отвода тепла от этих устройств. Одной из проблем терморегулирования является низкая теплопроводность существующих коммерческих теплопроводящих паст [1, 3].

С каждым днём всё больший интерес в области термоинтерфейсных материалов представляют углеродные филлеры, в том числе графеновые нанохлопья, т.к. они обладают колоссально высокой теплопроводностью [2, 4].

Целью работы является получение графеновых термоинтерфейсов на базе коммерческих термопаст, реализация установок по измерению свойств (теплопроводность, адгезия, вязкость) полученных паст или адаптация готовых продуктов и определение влияния графена на вышеуказанные свойства.

В рамках данной работы был получен ряд образцов на базе КПТ-8 с добавлением различной концентрации графеновых нанохлопьев. Была проведена микроскопия (оптическая и сканирующая электронная), спектрометрия микрослоев и измерение теплопроводности полученных паст.

В продолжение исследования планируется завершить измерения адгезии и вязкости, а также провести такой же цикл измерений для паст с добавлением микросфер и других нанонаполнителей.

Работа поддержана Российским научным фондом (проект №17-19-01757).

Литература

1. **Дмитриев А.С.** Введение в нанотеплофизику. М.: БИНОМ, 2015. 756 с.
2. **Khan M.F., Balandin A.A**. Graphene-multilayer graphene nanocomposites as highly efficient thermal interface materials. Nano Lett. 12 (2). 2012. P. 861–867.
3. **Kafil M. Razeeb, Eric Dalton, Graham Lawerence William Cross & Anthony James Robinson.** Present and future thermal interface materials for electronic devices, International Materials Reviews, 2017 DOI: 10.1080/09506608.2017.1296605
4. **A.S. Dmitriev**. Hybrid Graphene Nanocomposites: Thermal Interface Materials and Functional Energy Materials, Graphene Production and Application, 2019, DOI: 10.5772/intechopen. 89631

А.А. Дмитриев, асп.;
рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТОВ ИЗ ГАЛЛИЯ И ГРАФЕНА К СОЗДАНИЮ ТЕРМОИНТЕРФЕЙСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Графен находит все больше применений в создании материалов с высокой теплопроводностью. Жидкометаллические сплавы, включая галлий, также являются перспективным вариантом для использования в качестве термоинтерфейсов [1]. В нашей работе мы исследовали возможности создания композитных материалов на базе сплавов галлия с графеновыми нанохлопьями и оценили перспективность использования такого сочетания в качестве термоинтерфейса.

Цель нашего исследования состояла в разработке технологий создания композитов из галлия и графена. Были использованы три основных варианта технологий: механическое размешивание графена в расплаве [2], ультразвуковое эмульгирование галлия во взвеси графена в петролейном эфире и создание смеси галлий-графеновой эмульсии с термопастой.

Сплав галлия с графеном продемонстрировал необычные свойства метастабильного состояния. Присутствие графена стабилизировало жидкое состояние переохлажденного галлия. Тем не менее, данный класс сплавов ведет себя непредсказуемо. Свойства данного сплава необратимо меняются после застывания, что затрудняет его использование в качестве термоинтерфейса. При ультразвуковом диспергировании расплава галлия в петролейном эфире, графеновые хлопья покрывают капли галлия, выступая как некоторый аналог эмульгатора. Проведена электронная и оптическая микроскопия образцов порошка, а также следов, которые он оставляет на подложке после сжатия. Капли галлия, покрытые графеном, были замешаны в термопасту КПТ-8. Были изучены образцы экспериментальной термопасты с различными концентрациями галлий-графеновых капель. Термопаста показала увеличение теплопроводности в 2 и более раз по сравнению с исходной КПТ-8. Было отмечено, что растирание термопасты между пластинами приводит к высвобождению капель галлия.

Работа поддержана РНФ (проект №17-19-01757).

Литература

1. **J. Xu, Y. Li, C. Chang.** Excellent thermal performance of gallium-based liquid metal alloy as thermal interface material between aluminum substrates. Appl. Thermal Engineering. 2019, 114649.
2. **W. Dai, T. Ma, J. Gao et al.** Metal-level thermally conductive yet soft graphene thermal interface material. ACS Nano. 2019. 13, 11561–11571.

Е.С. Федотова, Г.З. Муханова, студ.;
рук. П.Г. Макаров, к.т.н., ст.п. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЦЕЗАЩИТНЫХ СРЕДСТВ МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОФОТОМЕРИИ

Ультрафиолетовое (далее УФ) излучение, лежащее в диапазоне длин волн от 10 до 400 нм, оказывает воздействие на нижние слои кожи, вследствие чего там образуется и накапливается специфический пигмент меланин, что приводит к изменению цвета кожи. При длительном воздействии может вызывать ожоги, в худшем случае — рак кожи [1]. В таком случае важно ограничить время пребывания под действием УФ-лучей.

Для предотвращения появления отрицательных эффектов разработаны специальные средства, количественным параметром оценки действия которых является так называемый солнцезащитный фактор SPF (Sun Protection Factor). Подобные средства отличаются составом и принципом действия [2]. Эффективность этих средств и влияние различных добавок на их фильтрующую способность мы и проверим методом оптической спектрофотометрии.

Исследуемые образцы фильтрующих кремов наносились между стеклянных пластин в чистом виде, а также на мембранную бумагу. Толщина слоя контролировалась спейсерами. Далее конструкция помещалась в держатель, где через нее проходил луч света от источника по оптоволокну и, пройдя сквозь образец, попадал в спектрофотометр, регистрирующий изменение коэффициента пропускания, по которому анализировалась поглощающую способность средства.

В результате проведения исследований было получено, что не во всех образцах заявленные данные соответствуют действительности. На это могли повлиять такие факторы как ценовой сегмент образцов (более дорогие показали себя лучше), степень прозрачности средства, и погрешность метода (неравномерность нанесения слоя средства на подложку и излучение из окружающей среды). При внесении пигмента в исследуемые средства было замечено почти полное поглощение в области фиолетового цвета в спектре.

Литература

1. **Yasuhiro Matsumura* and Honnavara N. Ananthaswamy** Toxic effects of ultraviolet radiation on the skin // Toxicology and Applied Pharmacology. 195 (2004) 298–308
2. **Curtis Cole, Thomas Shyr, Hao Ou-Yang** Metal oxide sunscreens protect skin by absorption, not by reflection or scattering // Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine 2016; 32: 5–10

А.В. Артамонов, студ.; рук. П.Г. Макаров, к.т.н.;
конс. А.С. Дмитриев, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ЛЕЙДЕНФРОСТА НА НЕОДНОРОДНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Во многих технических приложениях мы сталкиваемся с взаимодействием жидкости с перегретой твердой поверхностью. Если твердая поверхность нагрета выше определенной температуры, кипение происходит в пленочном режиме, что в случае с каплей выражается в возникновении эффекта Лейденфроста [1]. Однако, большинство работ посвящено эффекту Лейденфроста на однородной поверхности, настоящее же исследование посвящено поведению капель на сильно перегретых металлических струнах.

Капля при помощи дозатора наносилась на струны, которые, в свою очередь, накалялись путем подачи переменного тока регулируемой мощности.

В ходе этой работы был обнаружен эффект Лейденфроста на струнах, а также было замечено направленное движение капли на паровой прослойке в зависимости от направления рельефа струн. Помимо этого, наличие или отсутствие рельефа струн влияет на скорость испарения капли и, соответственно, на время жизни капли над поверхностью струн (рис. 1).

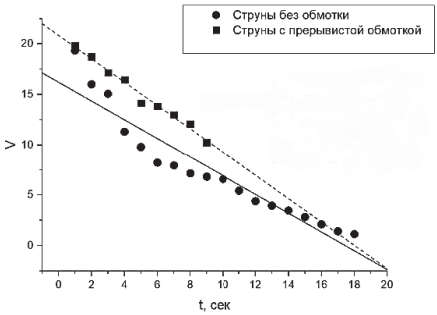


Рис 1. График зависимости объема капли от времени

По данной зависимости можно сделать вывод о том, что при нанесении на струны прерывистой обмотки испарение капли проходит более интенсивно, кроме того, время жизни капли над поверхностью струн уменьшается.

Список используемой литературы

1. **Джерл Уокер**. Кипение и эффект Лейденфроста; Государственный Университет Кливленда,1994;

Г.В. Колесников, студ.; Е.С. Соловьев, студ.;
рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ИСПАРЕНИЯ ЖИДКОСТИ С ПОМОЩЬЮ ПОРИСТЫХ ПОДЛОЖЕК, ПОКРЫТЫХ ГРАФЕНОВЫМИ ХЛОПЬЯМИ

В настоящее время во всем мире ведётся множество исследований графена, как вещества, обладающего уникальными физическими свойствами, и представляющего собой перспективный прикладной материал для энергетики ближайшего будущего. В частности, в ряде работ рассматривается возможность его применения в солнечной энергетике [1].

Целью данной работы являлось исследовать интенсификацию испарения жидкости с помощью пористых подложек, покрытых графеновыми хлопьями. Изучение будет проводиться в реальном времени во время испарения и по его окончанию. Фиксироваться результаты будут с помощью термопары, пирометра, которые в дальнейшем будут проанализированы. Для сравнения эффективности испарения будут использоваться различные пористые подложки.

Исследуемые частицы: графеновые нанохлопья (ширина 1–10 мкм, толщина 10 нм).

На данный момент проведены эксперименты, в которых найдены оптимальные условия для проведения, необходимых для исследования, экспериментов, позволяющие исключить воздействие внешних факторов. В дальнейшем планируется провести исследования интенсификации испарения жидкости с нанесением графеновых нанохлопьев на различные пористые подложки.

Литература

1. **А.С. Дмитриев, Д.А. Юнусбаев**. Солнечная теплоэнергетика на основе прямого преобразования планковского спектра солнечного излучения с использованием наножидкостей. Материалы Международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики» (Москва, 9–11 октября 2017 г.): в 2 т. Т. 2. — М.: Издательский дом МЭИ, 2017. — 410 с.

А.С. Николаев, студ.;
рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)

КОЛЛЕКТИВНЫЕ ЭФФЕКТЫ ИСПАРЕНИЯ КАПЕЛЬ ЖИДКОСТИ НА ПОДЛОЖКЕ

Испарение или растворение единственной поверхностной капли — хорошо изученная тема из-за ее высокой важности в различных приложениях, например, в области покрытия и осаждения частиц [1]. Еще более важной, но гораздо менее изученной является тема испарения или растворения поверхностных капель, окруженных другими каплями. Эта ситуация, например, возникает при нанесении спрея на поверхность или при струйной печати. Наличие соседних капель делает аналитический подход более сложным по сравнению с одной каплей, или, в принципе, может наблюдаться ситуация, когда не существует аналитического решения проблемы коллективного растворения. Взаимный эффект, вследствие которого соседние капли оказывают друг на друга влияние, называется «коллективным эффектом», был подробно изучен для сферических капель внутри спреев [2].

Целью исследования является определение влияния коллективных эффектов на режимы испарения капель, определение количественных и качественных различий в процессе испарения одиночной свободнолежащей капли и системы из нескольких капель.

В докладе описаны оборудование и методология, применяющиеся при исследовании процесса испарения свободнолежащих капель жидкости, и систем, состоящих из свободнолежащих капель.

Литература

1. **J. Freed-Brown.** Evaporative deposition in receding drops. Soft Matter, 2014, 10, 9506–9510
2. **A.J. Shah, Y. Sun, X. Yang, V. Chhasatia**. Coalescence, evaporation and particle deposition of consecutively printed colloidal drops. Soft Matter. 2012, 8, 9205

В.В. Дьяков, студ.; рук. И.А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ),
А.А. Лебедев, зам. нач. отд.; Н.Т. Вагапова, к.х.н. (АО «НПП Квант)

СОВРЕМЕННОЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Энергообеспечение космического аппарата осуществляется с помощью солнечных батарей, представляющих собой коммутированные и смонтированные на несущем каркасе сборки из покрытых стеклом фотоэлектрических преобразователей (ФЭП). Основные свойства ФЭП определяет его вольтамперная характеристика (ВАХ). На стадиях технического передела для оценки характеристик ФЭП, которые устройство будет показывать в условиях открытого космоса, снятие ВАХ должно проводиться при освещении внеатмосферным солнечным излучением (AM0, мощность 1360 Вт/m^2). Для этого применяют имитаторы солнечного излучения (ИСИ) различных конструкций, составляющие основу метрологического обеспечения ФЭП. С учетом различий существующих измерительных систем, определенную сложность представляет сопоставление значений, получаемых с помощью различных ИСИ.

С целью выявления оптимальной конструкции ИСИ для измерения ВАХ каскадных ФЭП на основе соединения A III B V в работе проанализированы современные разработки ИСИ. Мировыми изготовителями ИСИ (AM0) являются ТЕХНОЭКСАН (РФ), TS-Space Systems (Великобритания), Spectrolab (США). Основные типы ИСИ — имитаторы с источниками излучения имульсивного (ИСИИ) и непрерывного (ИСИН) действия. ИСИ могут иметь в конструкции одну или несколько ламп для более полного воспроизведения солнечного спектра. Имитация концентрированного излучения достигается изменением расстояния образца до источника излучения. Различными способами проводится настройка и калибровка ИСИ: с использованием контрольного образца (КО) при каждом измерении; с однократным измерением КО.

На основе проведенных измерений ВАХ партии каскадных ФЭП с помощью ИСИИ и ИСИН (одно- и трехламповых) показана меньшая трудоемкость при поточных измерениях на ИСИИ, большая точность и воспроизводимость измерений при использовании ИСИН.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №17-19-01757).

Литература

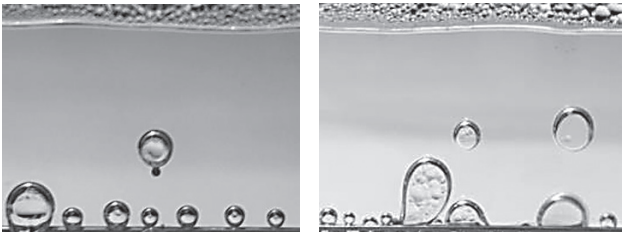
1. **А.С. Дмитриев, И.А. Михайлова,** Физико-химия наноструктур. Изд-во МЭИ, 2013. — 240 стр.

Л.В. Ямщикова, студ.; рук-ли А.С. Дмитриев, д.т.н., проф.;
П.Г. Макаров, к.т.н. (НИУ МЭИ»)

ЭФФЕКТЫ ТЕРМОФЛОТАЦИИ И РЕЖИМЫ «ПРЫГАЮЩЕГО» КИПЕНИЯ

Работа посвящена процессам пузырькового кипения в недогретой жидкости в режиме «прыгающих» пузырей в мезоскопической структуре монодисперсных микросфер [1]. Процессы термофлотации в перспективе могут играть важную роль в добыче полезных ископаемых и обработке твердых отходов.

В данной работе исследование «прыгающего» кипения проводилась в узком сосуде с дистиллированной водой, в котором зазор между стенками составляет около 1 мм (с закрытой поверхностью). Сосуд подогревается через проволоку из «фехреля» источником напряжения, а внутрь сосуда помещаются монодисперсные микросферы из свинца диаметром 400 мкм; уровень жидкости составляет около 1,5 см. Измерялась температура и проводилась фотосьемка процесса. Как показывают эксперименты и теоретический анализ, в основе режима «прыгающего» кипения лежит эффект термофореза — появление пузырей растворенного воздуха или пара с последующим захватом микросфер и их подъемом к зеркалу испарения [1]; процесс отличается динамическим поведением трех фаз — паровой (газовой), жидкой и твердой (микросферы) с периодическим подъёмом и опусканием комплексов «пузырь+микросфера» и может наблюдаться стабильно весьма долгое время (рис. 1). По результатам экспериментов авторами обнаружен температурный режим в недогретой жидкости перехода от пузырькового кипения к «прыгающему» кипению, механизм захвата и подъёма пузырями монодисперсных микросфер, а также температурный режим обратного перехода от «прыгающего» кипения к обычному пузырьковому кипению.



а) б)

Рис. 1. (а) — режим «прыгающего» кипения,
(б) — переход к обычному пузырьковому кипению.

Литература

1. **А.С. Дмитриев, П.Г. Макаров, М.А. Эльбуз.** Письма в ЖТФ, т. 41, вып. 6, с. 67–72, 2015.

Направление

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Директор ИТАЭ, д.т.н., профессор,
член-корр. РАН А.В. Дедов

Секция 44.
КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Председатель секции — Тупов Владимир Борисович
Секретарь секции — Каверин Александр Александрович

М.Ю. Рябов, студ.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЯ ШУМА ОТ ГРЭС С БЛОКАМИ ПГУ

Шум является серьезной проблемой при работе промышленных предприятий, в том числе и энергетических. [1]. Эта проблема актуальна для ГРЭС с блоками ПГУ, которые располагаются рядом с жилыми районами. Особенностью ГРЭС с блоками ПГУ является то, что на таких станциях располагается оборудование большей мощности по сравнению с другими энергетическими предприятиями. Была рассмотрена ГРЭС с характерным оборудованием, а именно: паровые котлы ТГМП-314 в количестве 4 шт., паровые турбины К-300–240 в количестве 4 шт, а также оборудование парогазовой установки- газовая турбина PG9351FA, котёл-утилизатор HRSG-285/43/41–10,4/2,5/0,5–556/300/294 и паровая турбина D10.

Для ГРЭС с выбранным оборудованием была составлена математическая модель. Были проведены акустические расчеты для разного состава работающего оборудования и разных режимов работы. Показано влияние ориентации оборудования по отношению к жилому району.

Проведенные акустические расчеты показали влияние от каждого вида оборудования для различных территорий вокруг ГРЭС. Для каждого оборудования были рассчитаны превышения санитарных норм. Рассмотрены возможные мероприятия по уменьшению шума от каждого вида источника, а именно срез дымовой трубы паросилового оборудования и воздухозабор компрессорной установки ГТУ [2–3]. Целью мероприятий по снижению факторов физического воздействия от ГРЭС является доведение величин физического воздействия разных источников до санитарно-гигиенических норм на рабочих местах и на территории жилой застройки. Для поставленной цели были проведены акустические, аэродинамические и весовые расчеты глушителей шума. Показано, что установка выбранных глушителей позволяет уменьшить шум от них до допустимых значений.

Литература

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
2. **Тупов В.Б.** Проблемы и основные направления снижения шума в энергетике// Защита от повышенного шума и вибрации: сборник докладов VII Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием, 19–21 марта 2019 г. СПб/ Под ред. Н.И. Иванова, С. 46–56
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

А.А. Климов, студ.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ ШУМА ОТ КРЫШНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ БЛОКА ПГУ-420Т

В настоящее время всё большее внимание уделяется снижению неблагоприятных воздействий от работы промышленных предприятий на человека. Одним из таких воздействий является шум от объектов энергетики и промышленных предприятий в целом [1]. Снижение уровня шума особенно актуальна на энергетических объектах, расположенных в близи жилой застройки. Особенностью блока ПГУ-420Т является то, что на нем располагается оборудование большей мощности, в частности, крышные вентиляторы, которые являются источниками интенсивного шума для окружающего района.

Была составлена математическая модель рассматриваемого блока ПГУ-420Т с крышными вентиляторами, а именно: отделения ГТУ КРОВ9–8 в количестве 2 и КРОВ6–9 в количестве 3 шт., отделения КУ КРОВ9–12 в количестве 8 шт., отделения насосов КУ КРОВ9–9 в количестве 3 шт., отделения ПТУ КРОВ9–9 в количестве 6 шт. Проведены акустические расчеты для выбранного состава оборудования.

Для каждого крышного вентилятора были рассчитаны превышения санитарных норм. Рассмотрены возможные мероприятия по уменьшению шума от каждого вида источника [1–2]. Целью мероприятий по снижению факторов физического воздействия от блока ПГУ-420Т является доведение величин физического воздействия разных источников до санитарно-гигиенических норм на рабочих местах и на территории жилой застройки. Особенностью разработки мер по снижению шума от блока ПГУ-420Т, который находится в близи с жилыми домами, являются существенные отличия санитарных норм для различных территорий. Так, например, уровень звука на территории ТЭЦ допускается равным 80дБА, а на территории жилой застройки — не более 45 дБА. От величины требуемого снижения шума зависит выбор способа или устройства для его уменьшения [1]. Проведено сравнение и сделан выбор мероприятий по снижению шума от крышных вентиляторов.

Литература

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
2. **Тупов В.Б.** Проблемы и основные направления снижения шума в энергетике// Защита от повышенного шума и вибрации: сборник докладов VII Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием, 19–21 марта 2019 г. СПб/ Под ред. Н.И. Иванова, С. 46–56

А.В. Нечаев, студ.; рук. В.Б. Тупов, д.тн., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ ТЭС ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ МОЩНОСТИ УСТАНОВКАМИ ПГУ

В последнее время увеличение мощности ТЭС происходит путем установки более экономичного оборудования. Таким оборудованием являются парогазовые установки. Преимуществами ПГУ являются их экономичность, умеренные габаритные размеры, удобство транспортировки и монтажа. Но даже при штатной эксплуатации КЭС шум от ее оборудования может превышать санитарные нормы. При этом превышение санитарных норм может иметь место на расстоянии нескольких километров от энергетического объекта [1]. При этом КЭС должна иметь санитарно-защитную зону, составляющую 500 м [1].

Для исследования шумового воздействия на окружающий район были выбраны две ПГУ, состоящие из газовой турбины ГТЭ-160, котла-утилизатора ПК-74, паровой турбины типа Т-56/73–7,8/0,04 и соответствующего вспомогательного оборудования [2].

Был выполнен акустический расчет для двух вариантов: до и после увеличения мощности станции. Результаты акустического расчета для точки расположенной на расстоянии 500 м от станции показывают превышение санитарных норм. Рассмотрены различные варианты по уменьшению уровня шума от указанного выше оборудования. Показано, что мероприятия по шумоглушению необходимы до и после расширения КЭС. Для станции до модернизации необходима установка глушителей для тягодутьевых машин.

После расширения станции дополнительно необходима установка глушителей на воздухозаборах ГТУ и перед КУ.

Рассмотрены различные глушители для снижения шума тягодутьевых машин, воздухозаборов ГТУ и среза дымовой трубы КУ. Были проведены акустические, аэродинамические и весовые расчеты глушителей шума. На основании выполненных расчетов даны рекомендации по использованию пластинчатых глушителей для снижения шума тягодутьевых машин и воздухозаборов ГТУ.

Литература

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012
2. **Тупов В.Б.** Проблемы и основные направления снижения шума в энергетике// Защита от повышенного шума и вибрации: сборник докладов VII Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием, 19–21 марта 2019 г. СПб/ Под ред. Н.И. Иванова, С. 46–56

С.А. Кузьминова, асп.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ГАЗОПРОВОДОВ НА АКУСТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКРАНОВ

Энергетические объекты являются одними из мощных источников шумового загрязнения города. Это особенно важно, поскольку в условиях плотной городской застройки часто наблюдается превышение действующих санитарных норм [1] по фактору шума для населения. Газорегуляторные пункты (ГРП) и газопроводы после них — один из основных источников шума на территории ТЭЦ. Излучение шума от газопровода после выхода из здания ГРП имеет ряд особенностей, а именно: переменная высота расположения газопровода над уровнем земли, переменные акустические характеристики по длине, большая протяженность газопровода. Одним из способов снижения шума энергетического оборудования является установка акустических экранов.

В работе приведены результаты расчета эффективности акустического экрана для снижения шума от газопровода ГРП в зависимости от высоты газопровода. Газопровод задан как линейный источник с переменными шумовыми характеристиками на отдельных участках длиной 200 м. Бесконечно длинный экран высотой h=5 м расположен на расстоянии 3 м от оси газопровода. Высота прохождения газопровода составила 1,5, 2, 3 и 4 м. Затухание от газопровода было рассчитано по методике [2].

Отдельно рассмотрен вопрос снижения шума в зависимости от расстояния от экрана до оси газопровода. Экран заданной высоты располагается на расстояниях 2, 3, 4 и 5 м. Высота газопровода составляет H=2 м по всей длине. Для упрощения расчета газопровод задан с постоянными характеристиками по длине.

В работе определена критическая высота прохождения газопровода, до которой эффективно применение акустических экранов для его снижения шума.

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. **ГОСТ 31295.2–2005 (ИСО 9613–2:1996)** Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета.
3. **Tupov, V.B.** Features of noise emission from gas distribution stations and gas papelines// Power technology and Engineering, vol. 52, №.4, 2018, с. 448–450.
4. **Чувирова С.А., Тупов В.Б.** Возможности акустических экранов для снижения шума ГРП и газопроводов после него// Защита от повышенного шума и вибрации: сборник докладов. СПб, под ред. Н.И. Иванова — 2019, с. 726–732.

Т.Н. Умыржан, студент; А.Ж. Адылканова, аспирант;
рук. А.Б. Касымов, PhD, (ГУ им. Шакарима, г. Семей) А.В. Градобоев, д.т.н.,
профессор (Томский политехнический университет, г. Томск)

К ВОПРОСУ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛАХ

От функционирования энергетической отрасли зависит эффективность работы промышленности, а также и обеспеченность ЖКХ тепловой энергией. В Республике Казахстан большие запасы угля и поэтому большая часть ТЭЦ и котельных работает на этом топливе, при этом наряду с традиционно используемым углем, все большее распространение получают новые непроектные угли. Все это по-прежнему оставляет актуальным исследование и анализ эффективности теплообменных процессов в энергетических котлах. Этой тематике посвящены работы многих авторов [1,2].

Постепенно проходит модернизация ТЭЦ и замена, как основного, так и вспомогательного оборудования. Поэтому необходимо проводить наладку оборудования на оптимальные режимы работы

Цель исследования — изучение и анализ существующих методов моделирования теплообменных процессов, происходящих в энергетических котлах, работающих на твердом топливе (угле).

Исследование проводилось с выявлением сильных и слабых сторон известных методов, а также возможностью их применения для анализа процессов, протекающих в топочной камере и в хвостовых поверхностях котельного агрегата.

Авторами были проанализированы необходимые начальные данные и условия, необходимые для математического моделирования процессов в элементах оборудования ТЭС и исследовано влияние площади поверхности теплообмена, наличия оребрения и режимов течения жидких сред на эффективность теплообменных процессов.

Литература

1. **А.С. Аскарова, С.А. Болегенова, В.Ю. Максимов, А. Бекмухамет** Применение технологии 3d моделирования при исследовании процессов тепломассопереноса в камерах сгорания действующих энергетических объектов // известия томского политехнического университета. — 2012. — №4. — с. 26–32 с.
2. **Балакин В.В., Булычев Д.А., Дергунов И.М., Кузнецов А.В., Хохлов А.В.** Методика расчета теплообмена в топочной камере при сверхкритических параметрах рабочего тела с использованием ansys fluent // сборник научных статей. — 2012. — №№3 (11). — с. 143–147 с.

Б.А. Мамонов, студ.; рук. М.В. Фоменко, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕВОДА КОТЛА ТПП-210А НА ТВЕРДОЕ ШЛАКОУДАЛЕНИЕ

В отечественной энергетике большое число котлов спроектировано на жидкое шлакоудаление (ЖШУ). Данная технология призвана обеспечить устойчивое воспламенение низкореакционного топлива за счет высокой температуры в зоне горения, уменьшить металлоемкость котла, повысить надежность и экономичность. Однако, как показал опыт эксплуатации котлов с ЖШУ, на пониженных нагрузках для обеспечения устойчивого воспламенения необходима подсветка газом или мазутом, что ограничивает регулировочный диапазон и снижает надежность работы. Кроме того, высокая температура в зоне горения приводит к большой эмиссии оксидов азота, составляющей около 1200–1900 мг/м^3 при технологическом нормативе, установленном для котлов с ЖШУ 700 мг/м^3 [1].

В связи с вышеуказанными недостатками актуальным становится вопрос о возможности перевода котлов на режим с твердым шлакоудалением (ТШУ). Исследование проведено на примере двухкорпусного парового котла ТПП-210А спроектированного на сжигание кузнецкого тощего угля, мазута и газа.

По результатам теплового расчета [2] выявлено, что после реконструкции топочной камерыкотла тепловое напряжение сечения q_f не превышает допустимое значение равное 4,95 МВт/ м^2, что является одним из условий безшлаковочной работы топочной камеры [3]. Для дополнительного снижения теплового напряжения, а такждедля подавления образования оксидов азота предложена новая схема сжигания с применением прямоточных горелочных устройств и сопел с организацией трехступенчатого сжигания. Численное моделирование аэродинамики топочной камеры выполнено в программном комплексе ANSYS Fluent.

Литература

1. **ГОСТ Р 50831–95.** Установки котельные. Тепломеханическое оборудование. Общие технические требования. М.: Издательство стандартов, 1996.
2. **Тепловой** расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / под ред. Н.В. Кузнецова и др. М.: Энергия, 1973.
3. **Вербовецкий Э.Х., Жмерик Н.Г.** Методические указания по проектированию топочных устройств. СПб.: ВТИ: ЦКТИ, 1996.

А.Б. Мухаметов, студ.; рук. А.А. Тараторин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУШИТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС

Эффективным мероприятием снижения шума энергетического оборудования до санитарных норм является установка пластинчатых диссипативных глушителей. Пластинчатые глушители часто устанавливаются в воздухозаборном тракте дутьевых вентиляторов и в выхлопном тракте дымососов. Эффективность глушителей определяется необходимым снижением шума во всем диапазоне частот и минимальным аэродинамическим сопротивлением [1]. Как было показано в [2] требуемое снижение шума тягодутьевых машин ТЭС существенно зависит от региональных климатических факторов. В настоящей работе рассматривается применение пластинчатых диссипативных глушителей переменного сечения, установленных в газовоздушных трактах котельных агрегатов. По результатам акустических расчетов, выполненных в Mathcad, построены зависимости изменения удельного снижения шума и необходимой длины глушителя от угла пластин для частот 31,5–8000 Гц. В рассматриваемом случае угол пластин меняется в диапазоне 0,14–3°. Выполнено моделирование течения газов в глушителе в программном пакете SolidWorks для определения изменения аэродинамического сопротивления пластин постоянного и переменного сечения.

Длина пластин зависит от требуемого снижения шума для различных среднегеометрических частот. В рассматриваемом случае максимальное требуемое снижение шума составляет 22,4 дБ на частоте 1000 Гц. При этом длина пластины при угле 3° увеличивается на 1000 мм в сравнении с прямыми пластинами. Полученные данные позволяют определить оптимальную толщину, как прямых пластин, так и пластин переменного сечения.

В ходе данной работы также выполнен акустический расчет глушителей переменного сечения в программном пакете Ansys и рассмотрена возможность использования данного пакета для расчета глушителей сложных форм.

Литература

1. **Тупов В.Б**. Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. М.: МЭИ, 2012. — 284 с.
2. **Тараторин А.А., Мухаметов А.Б.** Влияние климатических факторов на определение требуемого снижения шума тягодутьевых машин ТЭС // VII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Защита от повышенного шума и вибрации», 19–21 марта 2019, г. Санкт-Петербург. С. 680–689.

Н.Е. Фоменко, асп.; рук. В.Б. Прохоров к. т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОЧНОЙ КАМЕРЫ КОТЛА М-ОБРАЗНОГО ПРОФИЛЯ НА УЛЬТРАСВЕХКРИТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПАРА*

На сегодняшний день в РФ отмечается важность и необходимость перехода на более высокие КПД производства электроэнергии [1]. Технология использования ультрасверхкритических параметров пара (УСКП пара) способствует повышению КПД термодинамического цикла Ренкина угольных энергоблоков свыше 50% [2]. Ограничивающим фактором, определяющим использование параметров УСКП, является отсутствие материалов, способных выдерживать эти условия. Для пароперегревателей УСКП необходимо использовать сплавы на основе никеля с наличием таких характеристик ползучести, жаропрочности и коррозионно-окислительных свойств, которые позволят надежно работать при температуре пара 700–720 °С.

Для сокращения длины дорогостоящих паропроводов кафедрой ТЭС НИУ МЭИ предложена концепция трехходовой компоновки однокорпусного инвертного котла М-образного профиля мощностью 500 МВт для сжигания Кузнецкого тощего угля. Для разработки оптимальной схемы сжигания, которая должна обеспечить низкие выбросы оксидов азота, эффективное и надежное сжигание топлива с допустимым механическим недожогом и бесшлаковочным режимом работы, рассмотрены шесть вариантов расположения прямоточных горелок и сопл, для которых были проведены предварительные модельные исследования аэродинамики топки котла.

На кафедре проводится исследование эффективности схемы сжигания для предложенного котла с помощью физического и численного моделирования. В работе проводится численное моделирование процесса горения и образования оксидов азота для наиболее удачной, с точки зрения аэродинамики, схемы полномасштабной модели топки. Будут получены результаты по механическому недожогу, температурные поля в объеме топки, величины выбросов оксидов азота, которые позволят сделать выводы об эффективности предложенной схемы сжигания.

**Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Соглашение 16-19-10463П)*

Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 N 1715-р <Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года>
2. **Di Gianfrancesco, A.** (2017). The fossil fuel power plants technology. Materials for Ultra-Supercritical and Advanced Ultra-Supercritical Power Plants

Б.А. Мамонов, студ.; рук. А.А. Каверин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ФИЗИЧЕСКОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ФАКЕЛА КОТЛА С ИНВЕРТНОЙ ТОПКОЙ

Известно, что с ростом начальных параметров термодинамического цикла повышается его эффективность. Однако их повышение ограничивается прочностными и технологическими свойствами металлов, надежностью их работы. Переход к более жаропрочным сплавам влечет за собой значительное увеличение их стоимости. Разработанный в МЭИ котел М-образного профиля с инвертной топочной камерой позволяет существенно сократить длину главных паропроводов и, следовательно, уменьшить капитальные затраты.

Для организации топочного процесса предложено использовать ступенчатую схему сжигания с применением прямоточных горелочных устройств и сопел, позволяющую при эффективной организации внутритопочной аэродинамики добиться глубокого подавления NO_x, устойчивого воспламенения и высокой экономичности сжигания топлива.

В настоящей работе выполнено физическое (согласно методике изложенной в [1]) и математическое моделирование аэродинамики факела в программном комплексе ANSYS Fluent [2]. Качественное сравнение результатов представлено на рис. 1.

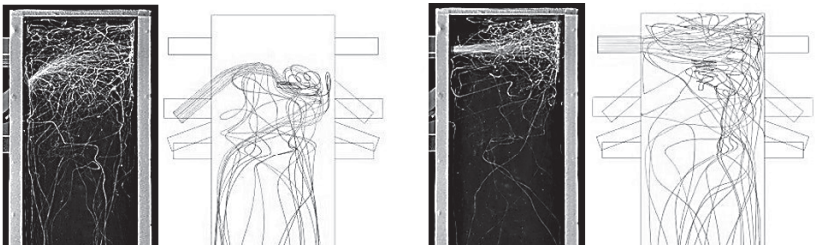


Рис. 1. Характер движения струй на физической и математической модели

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 16-19-10463-П от 20.05.2019)

Литература

1. **Архипов А.М., Липов Ю.М., Прохоров В.Б**. Использование прямоточных горелок и сопл в топках котлов: инновационный опыт МЭИ — М.: Издательство МЭИ, 2013.
2. ANSYS FLUENT, 14.5. (2014). User»s and theory guide. Canonsburg, Pennsylvania, USA: ANSYS, Inc.

Балдан И., студ.; рук. А.А. Тараторин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА ВЫБРОСОВ ПАРА УЛАН-БАТОРСКОЙ ТЭЦ-3

В настоящее время актуальной задачей на промышленных предприятиях является снижение шумового воздействие на человека. Наиболее мощным источником шума ТЭС является выброс пара в атмосферу, при котором происходит временное превышение уровня звука на 30–40 дБА в радиусе нескольких километров [1]. Выбросы пара с атмосферным давлением на срезе выхлопного трубопровода являются менее интенсивным источником шума, но обычно приводят к превышению санитарных норм по фактору шума на территории ближайшей жилой застройки [2].

В данной работе исследуется излучения шума паровыми струями различных параметров и определяется требуемого снижения шума от выбросов пара на ТЭЦ-3 г. Улан-Батора. Внутри границ санитарно-защитной зоны на расстоянии 100–300 м от ТЭЦ-3 расположены жилые помещения и здания промзоны. Подобная близость к рассматриваемому предприятия обуславливает необходимость разработки мероприятий снижения шума. В рамках исследования выполнен расчёт излучения шума от всех паровых выбросов на ТЭЦ-3, проведено моделирование распространения шума с использованием программного комплекса Predictor, а также разработаны рекомендации, учитывающие параметры сбрасываемого пара. Результаты расчетов показывают, что превышение шума в расчётных точках доходит до 45,5 дБА над санитарными нормами [3]. При этом на величину превышения влияет ориентация расчётных точек относительно паровых выбросов. В ряде случаев здания на территории ТЭЦ являются искусственными экранами.

Получено, что для расходов менее 30 т/ч следует использовать глушители докритических параметров, либо глушители, имеющие совмещённую дроссельную и диссипативную ступень. При расходах более 30 т/ч следует использовать двухступенчатый глушитель, включающий дроссельную и диссипативную ступень.

Литература

1. **Тупов В.Б**. Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. М.: МЭИ, 2012. — 284 с.
2. **Тараторин А.А.** Исследование излучения шума паровыми струями различных параметров на ТЭС и разработка мероприятий по его снижению: дис. канд. техн. наук: 05.14.14 / Тараторин Андрей Андреевич. — М., 2016. — 119 с.
3. **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.

Дашдорж О., студ.; рук. А.А. Тараторин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ ШУМА ГРАДИРЕН И ТРАНСФОРМАТОРОВ УЛАН-БАТОРСКОЙ ТЭЦ-3 С ПОМОЩЬЮ ЭКРАНОВ

Одной из наиболее распространенных мер для снижения шума на пути распространения являются экранирующие сооружения — акустические экраны (АЭ). Экраны в зависимости от длины, высоты, конструктивного исполнения и прочих факторов обеспечивают снижение шума на величину от 5 до 25 дБА, что во многих случаях является достаточным для обеспечения норм по шуму на прилегающей территории [1].

В настоящее время используют акустические экраны различных форм: без надстройки, Г-образный, Т-образный, Y-образный, стреловидный, цилиндр с ЗПМ, резонаторные. Экраны могут использоваться в энергетике для снижения шума градирен, трансформаторов и других источников, которые находятся на территории станции [2].

В работе рассчитывается шумовое воздействие градирен и трансформаторов ТЭЦ-3 г. Улан-Батора, определяется требуемое снижение шума в расчётных точках на территории ближайшей жилой застройки и предлагаются мероприятия для снижения шума. ТЭЦ-3 оказывает шумовое воздействие на окружающую среду и жилые комплексы, расположенные в радиусе от 100–300 метров от границ станции.

Допустимый уровень звука для селитебной территории с 7 до 23 часов составляет 55 дБА, а с 23 до 7 часов — 45 дБА [3]. В программе Predictor рассчитаны уровни звукового давления и уровни звука от градирен и трансформаторов. По результатам расчёта определено, что работа трансформаторов вызывает превышение нормативных значений в различных расчётных точках от 0,1 до 5,0 дБА а работа градирен — от 1,1 до 8,9 дБА. При совместной работе трансформаторов и градирен превышение составляет от 2 до 9,5 дБА.

После определения требуемого снижения шума рассмотрены варианты мероприятий и рассчитана акустическая эффективность экранов с различными типами надстроек на верхнем ребре.

Литература

1. **Тупов В.Б**. Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. М.: МЭИ, 2012. — 284 с.
2. **Тюрина Н.В.** Решение проблемы снижения шума на селитебных территориях и рабочих местах в помещениях акустическими экранами: дис. докт. техн. наук: 01.04.06. Санкт-Петербург. — 2015. — 298 с.
3. **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 г.

Е.А. Курдюмова, студ.;
рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КОМПЛЕКСНОЕ СНИЖЕНИЕ ШУМА ТЯГОДУТЬЕВЫХ МАШИН

В настоящее время все большее внимание уделяют проблеме снижения шума от объектов энергетики. Оборудование ТЭС даже при штатной работе является интенсивным источником шума, от которого превышаются санитарные нормы, как в производственных зонах, так и в окружающем районе. Эксплуатация тягодутьевых машин во многих случаях является основным источником превышения шума в окружающем районе. Различают три пути распространения шума, влияющего на окружающую среду: от корпуса, воздухозабора дутьевого вентилятора, устья дымовой трубы, излучающего шум от дымососов [1]. Поэтому тема снижение шума тягодутьевых машин является актуальной. В ходе данной работы были рассмотрены комплексные методы снижения шумового загрязнения окружающей среды тягодутьевыми машинами ТЭС, которые позволяют снизить общее шумовое воздействие на окружающую среду. Акустические расчеты, которые проведены в программе Predictor, показали, что при отсутствии специальных мероприятий для снижения шума в расчетных точках на границе санитарно-защитной зоны было превышение санитарных норм [2]. Одно из решений данной проблемы — это средства индивидуальной защиты [3]. Однако они должны использоваться лишь как дополнение к коллективным средствам защиты. Основным способом для уменьшения шумового воздействия тягодутьевых машин на окружающую среду является установка глушителей со стороны системы всасывания вентиляторов и со стороны системы нагнетания для дымососов. Установка глушителей позволяет ликвидировать тональные составляющие в спектре излучаемого от тягодутьевых машин шума. Для уменьшения шума от корпусов тягодутьевых машин используются кожухи (стационарные или съемные), либо звукоизоляция.

Литература

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. М. МЭИ, 2012. — 284 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. **ГОСТ 12.4.011–89.** Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация

М.В. Хасянов, студент; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЛУШИТЕЛЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА ОТ ВКУ

В настоящее время общество всё большее внимание уделяет снижению неблагоприятных воздействий от работы промышленности на человека. Одним из таких воздействий является шум от объектов энергетики. Уменьшение шумового воздействия рассматривается как важнейшее в комплексе экологических проблем, причем шумовой фактор зачастую является экологическим фактором для развития человечества. Одним из источников шумового воздействия в современной энергетике является воздушная конденсационная установка (ВКУ). Уровень звука от ВКУ может быть до 110 дБА вместо установленных нормативами 80 дБА. [1]. Основным источником шума ВКУ являются вентиляторы. На разных ВКУ может быть от 12 до 24 вентиляторов осевого типа.

Для снижения шума, распространяющегося по воздуховодам от вентилятора предназначены шумоглушители, а в открытом воздухе — экраны. Требуемое снижение от каждого источника шума определяется расчетным путем. При установке глушителя или экрана необходимо учитывать снижение шума по спектру частот.

В данной работе проведены результаты акустических расчетов для расчетной точки. Для сравнения эффективности глушителей и экранов приведены графики зависимости акустической эффективности от геометрических характеристик. Расчет акустической эффективности производится согласно ГОСТ 31328–2006 (ИСО 14163:1998). [2]

Найдена область, когда целесообразно применять для снижения шума от ВКУ глушители, когда — экраны.

Литература

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
2. **ГОСТ 31328–2006 (ИСО 14163:1998**) Шум. Руководство по снижению шума глушителями 2006.

Степанишин Д.В., аспирант.; рук. Чернов С.Л., к.т.н., доц. (НИУ МЭИ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СЖИГАНИИ УГЛЯ МАРКИ Д ШУБАРКОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА КОТЛЕ ЕП-630–13,8–565/570 КТ (МОДЕЛЬ ТПЕ-223)

В рамках исследования разработана математическая модель топки котла Еп-630–13,8–565/570 КТ (модель ТПЕ-223), в которой организован процесс сжигания угля марки Д Шубаркольского месторождения, при работе котла с номинальной паропроизводительностью 630 т/ч.

Моделирование выполнено в программном модуле ANSYS FLUENT в НИУ «МЭИ». 3d-модель (геометрия топочной камеры) была разработана в НИУ «МЭИ» в программе SolidWorks. Сетка создана в программах ANSYS ICEM и ANSYS Meshing и имеет 3 930 920 ячеек, что позволило обеспечить высокую сходимость результатов с реальным котлом.

Созданная модель учитывает аэродинамику, теплообмен и химические реакций происходящие при сжигании угля. В ходе исследования разработана методика сбора данных для моделирования топочного режима реального котлоагрегата (на основе РД 153–34.1–44.302–2001 [1]), затем по данной методике проведены натурные испытания котла.

Математическая модель включает в себя следующую систему уравнений: уравнение неразрывности (сохранения массы); уравнение сохранения энергии; уравнение сохранения количества движения; уравнения переноса химических реагентов и продуктов реакции (уравнения диффузии); уравнение переноса лучистой энергии; уравнения состояния; уравнения для дискретной фазы.

В результате математического моделирования получено распределение температур по объему топки, векторы скоростей потока в различных сечениях топки, концентрации оксидов азота и продуктов недожога на выходе из топки.

Результаты математического моделирования позволяют сделать заключение о том, сжигание угля Шубаркольского месторождения на котле Еп-630–13,8–565/570 КТ проводится эффективно, при этом отсутствует риск шлакования поверхностей нагрева топки, концентрации оксидов азота, образующихся при сжигании данного топлива, находятся в допустимых пределах.

Литература

1. **Штегман А.В., Липанин В.Г.** Методические указания по организации изменения топливного режима в связи с недостатком проектных углей на электростанциях РАО «ЕЭС России» (РД 153–34.1–44.302–2001).

А.Д. Водениктов, соиск. А.А. Аверьянова, студ.;
рук. А.И. Минибаев асс. (КГЭУ, Казань)

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА РЕГЕНЕРАТИВНОГО ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЯ

В современной котельной установке воздухоподогреватель является важной составляющей. Его задача — возвратить в топку котла тепло от дымовых газов, за счет чего повышается КПД котла и станции в целом, поэтому обеспечение безопасной и экономичной работы воздухоподогревателя является актуальной задачей.

По принципу действия воздухоподогреватели делят на рекуперативные и регенеративные. В регенеративных воздухоподогревателях (РВП) теплопередача происходит путем вращения теплоаккумулирующей набивки через газовую и воздушную части [1].

Вращение РВП происходит при помощи электропривода, состоящего из электродвигателя и двухступенчатого вертикального редуктора. Электропривод расположен вблизи кожуха с горячей газовой стороны.

В рамках данной работы было проведено исследование воздухоподогревателей РВП-54 и РВП-68. Было выяснено, что температура корпуса электропривода составляет 80 °С, а температура наружной стороны кожуха 140 °С. Нагрев электропривода приводит к повышенному износу уплотняющих резиновых манжет, и как следствие, к утечкам масла [2]. Замена манжеты может быть устранена только на отключенном воздухоподогревателе, вследствие этого необходимо прибегать к вынужденной разгрузке котла. Одной из причин повышенной температуры привода, является неудовлетворительная работа периферийных уплотнений. В ходе исследования были произведены замеры давления выбиваемого горячего воздуха и температуры корпуса редуктора до и после регулировки уплотнений. Результаты показали, что снижение статического давления позволило уменьшить температуру корпуса редуктора до 50 °С.

Таким образом, нами была установлена причинно-следственная связь между зазорами в периферийных уплотнениях и нагревом электропривода РВП. Перспективой является модернизация периферийных уплотнений, для уменьшения величины перетоков воздуха через периферийные уплотнения в зазор между ротором и статором.

Литература

1. **Добряков Т.С., Мигай В.К., Назаренко В.С.** Воздухоподогреватели котельных установок — Л: Энергия, 1977. — 184 с.
2. **Шастин В.Н**. Справочник по ремонту котлов и вспомогательного котельного оборудования. — М.: Энергоиздат, 1981. — 496 с.

В.С. Халявин, студ.;
рук. Б.Л. Шелыгин, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РАСХОДА ТОПЛИВА КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА «П-102» ОТ ПАРОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В АВТОНОМНОМ РЕЖИМЕ ЕГО РАБОТЫ

В автономном режиме работы, когда отключена газовая турбина «ГТЭ- 6П», котел-утилизатор (КУ) «П-102» работает за счет сжигания природного газа, поступающего в топочную камеру через горелочные устройства.

Следовало определить зависимость расхода топлива КУ от паропроизводительности при изменении климатических условий. Расход сетевой воды составлял 10 т/ч.

По результатам серии вариантных расчетов было определено, что изменение расхода топлива в зависимости от $D_п$ при изменении температуры наружного воздуха в интервале tн=-30÷30 °С характеризуется зависимостью:

$$B = 1{,}55 - 0{,}0036 \cdot (t_н - 30) + 0{,}07 \cdot (D_п - 20)^{1.04} \quad (1)$$

В ходе исследования установлено, что расход топлива принимает значения от $1{,}55 \cdot 10^3$ до $4{,}05 \cdot 10^3$ нм^3/час.

Наиболее эффективная работа КУ «П-102» в автономном режиме достигается при паропроизводительности $D_п$=37÷43 т/ч, когда значения КПД котла (брутто) составляют $\eta_{ку}$ =93,9÷95,8% и соответствует расходу топлива B =2,88 · 103 ÷ 3,49 · 103 нм^3/час.

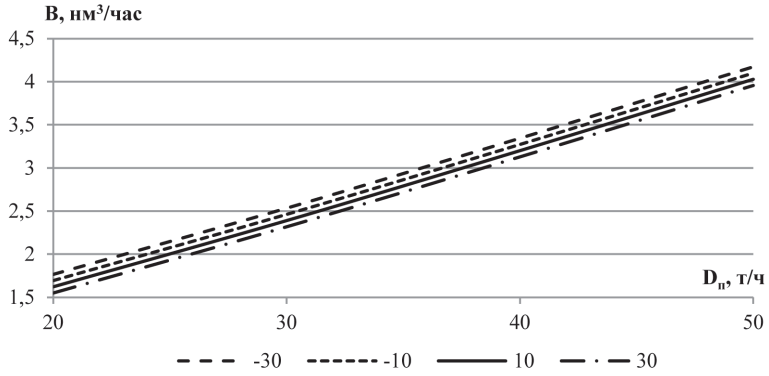


Рис. 1. Зависимость расхода топлива котла-утилизатора от паропроизводительности и температуры окружающей среды

К.М. Мирсалихов, студент; рук. А.М. Грибков, к.т.н., доц.(КГЭУ, Казань)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ В ОДНОСТВОЛЬНЫХ ДЫМОВЫХ ТРУБАХ ТЭС

Дымовая труба является основной частью газовоздушного тракта ТЭС, от функциональности которой зависит надежность и экономичность работы станции. Даже при наличии других методов снижения концентрации вредных веществ на уровне дыхания (сероочистка, пиролиз, газификация, мокрые и сухие способы очистки дымовых газов), применение дымовой трубы остается самым дешевым. Самым простым и наиболее распространённым является вариант дымовой трубы с одним газоотводящим стволом.

Высокая стоимость дымовой трубы обуславливает необходимость тщательной проработки её основных параметров (высоты и диаметра устья) с целью оптимизации её размеров.

В ходе расчета производится выбор конструкции элементов дымовой трубы, определяются ее геометрические параметры, стоимость трубы согласно актуальным ценам на стройматериалы, затраты, необходимые для транспорта газа. На основании этих данных вычисляются издержки и суммарные дисконтированные затраты для каждой скорости. По результатам расчета определяется зависимость суммарных дисконтированных затраты $З_д$ и стоимости дымовой трубы $К_{тр}$ от скорости выхода газов w (рис. 1). Та скорость дымовых газов, при которой суммарные дисконтированные затраты минимальные, является оптимальной. Затем рассчитываются статические давления в стволе дымовой трубы. Если в стволе давление меньше атмосферного, то труба может длительно и надежно эксплуатироваться.

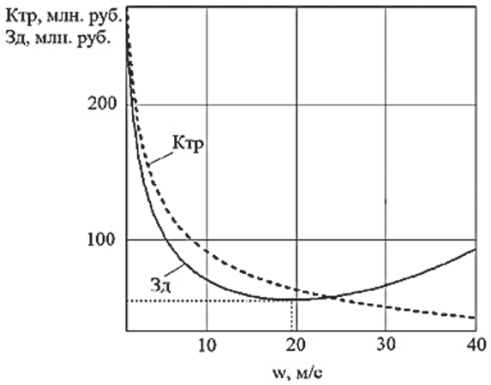


Рис. 1. Пример нахождение оптимальной скорости по минимуму суммарных дисконтированных затрат

А.А. Самкова, Д.В. Илясов, студ.;
рук. М.С. Иваницкий, доц., к.т.н. (ВФ МЭИ)

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА УХОДЯЩИХ ГАЗОВ ПАРОВЫХ КОТЛОВ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ

На современном уровне развития котельной техники наиболее эффективным способом повышения коэффициента полезного действия котла является снижение потерь тепла с уходящими газами посредством утилизации тепла в низкотемпературных теплообменниках-утилизаторах. Потенциал уменьшения потерь тепла с уходящими газами для газомазутных котлов составляет 4–6%, для пылеугольных энергоблоков оценочно равен 8–12%. При этом одной из немаловажных проблем остается низкотемпературная коррозия хвостовых поверхностей нагрева котельной установки, особенно, при сжигании высокосернистых мазутов. Дополнительным ограничением эффективной утилизации являются высокие капитальные вложения в утилизационную установку и отсутствие возможности применения утилизаторов без дополнительных линий транспортировки продуктов сгорания вследствие значительных объемных расходов уходящих газов, оценочно равных, для котлов большой тепловой мощности от 0,5 до 1,5 млн. м^3/ч [1, 2].

В работе на основе численных экспериментов выполнено исследование влияния степени утилизации тепла на эффективность роста КПД котла БКЗ-420–140 НГМ и изменение характера протекания низкотемпературной коррозии в газовоздушном тракте и дымовой трубе с целью оценки возможности повышения технико-экономических показателей топливосжигающих установок. Посредством полученных результатов разработаны практические рекомендации, способствующие снижению интенсивности протекания низкотемпературной коррозии, и как следствие, повышению эффективности работы парового котла БКЗ-420–140 НГМ при работе на природном газе и мазуте.

Литература

1. **Сидельковский Л.Н.**, Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. М.: Энергоатомиздат, 1988. 528 с.
2. **Стерман Л.С.**, Лавыгин В.М., Тишин С.Г. Тепловые и атомные электрические станции. Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1995. 416 с.

Е.С. Цыганова, Г.Н. Чекунова, студ.;
рук. М.С. Иваницкий, доц., к.т.н. (ВФ МЭИ)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ СИСТЕМЫ ГАЗООЧИСТКИ ТЭС И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В процессе сжигания топлива в топливосжигающих установках на тепловых электрических станциях и промышленных предприятиях в атмосферу выбрасываются вредные продукты сгорания, в том числе твердые частицы. Нормативный уровень концентраций твердых частиц в дымовых газах котлов, эксплуатируемых на территории России, жестко регламентируется природоохранным законодательством. Использование различных видов твердого топлива с индивидуальными рабочими характеристиками приводит к необходимости совершенствования расчетных методик, учитывающих конкретные свойства топлива, и улучшения эксплуатационных показателей газоочистных систем [1 – 3].

В работе на основе численных экспериментов исследовано влияние характеристик выбросов и конструкций элементов электрофильтрационного газоочистного оборудования на возможность повышения эффективности работы газоочистных аппаратов. При расчёте степени очистки газов учитывались характеристики и параметры: фракционный состав твердых частиц, удельное электрическое сопротивление частиц, напряжение питания фильтра, распределение напряжённости электрического поля электрофильтра и другие. На основе полученных результатов разработаны практические рекомендации для наладки режимов функционирования газоочистного оборудования энергетических предприятий на примере фильтров ОГП, использование которых в рамках нового экологического законодательства позволит энергетическим предприятиям рассчитывать действительные выбросы вредных веществ в атмосферу на стадии подготовки заявки на получение и пересмотр комплексных экологических разрешений (КЭР).

Литература

1. Федеральный закон РФ от 21.07.2014 №219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. №30. 2014. пункт 4220.
2. **Ужов В.Н.** Очистка промышленных газов электрофильтрами. М.: Химия, 1967. 344 с.
3. **Стерман Л.С., Лавыгин В.М., Тишин С.Г.** Тепловые и атомные электрические станции. Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1995. 416 с.

А.В. Стрельцов, М.И. Джураев, А.Э. Курбалева, С.Б. Шевцова, Н.А. Шпак, студ.; рук. М.С. Иваницкий, доц., к.т.н. (Филиал МЭИ в г. Волжском)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПАРОГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС

Базовую основу российской электроэнергетики составляют тепловые электростанции (ТЭС), в том числе теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), использующие в качестве топлива природный газ, мазут и уголь. Установленная мощность ТЭС России составляет порядка 232,5 ГВт и обеспечивает выработку более 66% всей электрической энергии в стране. Эксплуатация парогенерирующих установок на различных режимах работы в совокупности с их индивидуальными рабочими характеристиками приводит к необходимости совершенствования расчетных методик, учитывающих конкретные свойства топлива и параметров оборудования для оптимальной загрузки работающего оборудования и улучшения эксплуатационных показателей генерирующих систем [1, 2].

В работе на основе численных экспериментов исследовано влияние режимов эксплуатации паросилового оборудования Душанбинской ТЭЦ докритических параметров при сжигании в котлах природного газа и мазута на возможность повышения эффективности энергетического использования топлива с обеспечением высоких экологических и технико-экономических показателей процесса генерации тепловой и электрической энергии. Полученные в работе результаты могут быть применены для обеспечения оптимальной загрузки котельного оборудования Душанбинской ТЭЦ для улучшения технико-экономических и экологических показателей работы газомазутных энергоблоков в энергосистеме Таджикистана.

Литература

1. **Стерман Л.С.**, Лавыгин В.М., Тишин С.Г. Тепловые и атомные электрические станции. Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1995. 416 с.
2. **Щегляев А.В.** Паровые турбины. Учебник для вузов: в 2 кн. Кн. 1. 6-е изд., переработанное, дополненное проф. Б.М. Трояновским. М.: Энергоатомиздат, 1993. 384 с.

Секция 45.
ТЕХНОЛОГИЯ ВОДЫ И ТОПЛИВА НА ТЭС И АЭС

Председатель секции — Егошина Ольга Вадимовна
Секретарь секции — Селиванов Елисей Андреевич

Аунг Х.Н., Йе В.А., аспиранты;
рук. И.А. Бураков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ КАК РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ УГОЛЬНОЙ ГЕНЕРАЦИИ МЬЯНМЫ

На территории Народной Республики Мьянма в рамках решения задачи обеспечения 100% электрификации страны к 2030 году планируется строительство и функционирование 9 энергетических объектов относящихся к угольной генерации общей мощностью 7940 МВт [1]. Данные ТЭС будут вырабатывать 33% требуемой энергии в Мьянме [2].

При использовании угольных ТЭС возникает ряд проблем экологического характера, таких как значительные выбросы летучих частиц золы и шлака, токсичных соединений азота и серы, монооксида и диоксида углерода и т.д. В настоящее время существует негативный опыт эксплуатации электростанции в Тигите мощностью 120 МВт, которую из-за низкой экологичности необходимо было остановить для решения вопроса о повышении природоохранной составляющей.

Существует ряд технологий, направленных на решение данного вопроса, таких как применение системы мокрых и сухих скрубберов, применение технологий сжигания топлива, направленных на уменьшение токсинных выбросов оксидов азота, применение фильтров различного типа, для очистки дымовых газов от летучих частиц золы и шлака и т.д.

В представленной работе коллектив авторов предлагает в качестве решения повышения экологичности эксплуатации угольных ТЭС Мьянмы разработку и применение энерготехнологических заводов — комплекса углеперерабатывающего оборудования, включающего энергетическую переработку угля (обогащение, окусковывание, получение искусственных композиционных топлив) и более глубокую энерготехнологическую переработку угля (газификацию и пиролиз).

Разработанный проект оценен по энергетическим, экономическим и экологическим составляющим эксплуатации технологического оборудования и получаемой продукции — концентрата, композиций и искусственного синтетического газа.

Литература

1. Сайт «PoisonClouds» [Электронный ресурс]. — Режим доступа https://burmacampaign.org.uk/images/uploads/PoisonClouds. pdf.
2. Сайт «Myanmar National Electrification Program (NEP) Roadmap and Investment Prospectus» [Электронный ресурс]. — Режим доступа https://www.seforall.org/sites/default/files/Myanmar_IP_EN_Released. pdf

Е.А. Ануфриева, студ.; рук. И.А. Бураков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА ОБОГАЩЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ И ФОРМЫ ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

Несмотря на мировое снижение общей доли потребления угля в качестве топлива для энергетических предприятий, количество добычи угля на территории Российской Федерации (РФ) ежегодно возрастает. Так, по данным «Центрального диспетчерского управления топливно-энергетического комплекса» (ЦДУ ТЭК) за 2018 год на территории РФ добыто 439,3 млн. тонн угля, что на 28,1 млн. тонн больше чем объём добычи в 2017 году [1, 2]. В связи с представленной тенденцией актуальными становятся работы по повышению эффективности и экологичности процессов обогащения добываемого угля, как энергетического, так и коксующегося, а вместе с этим и разработка и строительство новых обогатительных фабрик и комбинатов.

В настоящее время процессы обогащения, применяемые для полезных ископаемых, разнообразны. С точки зрения принципа и свойств разделяемых минералов их классифицируют на следующие группы: гравитационные, флотационные, магнитные, электрические и специальные.

Одной из задач представленной работы являлся выбор наиболее оптимального метода обогащения энергетических углей. Для этого было проведено экономическое сравнение представленных методов обогащения по величине себестоимости единицы полученной продукции — тонны концентрированного угля. Был разработан алгоритм расчёта себестоимости получаемого концентрата после всех обозначенных выше процессов, включающий в себя стоимость используемого оборудования, расходы на эксплуатацию и ремонт, расходы на замену оборудования, амортизационные расходы. По результатам сравнения получено, что наиболее оптимальным методом обогащения для энергетических углей является гравитационный метод.

Литература

1. British Petrolium — статистический обзор мировой экономики. Июнь 2018 года. BP Statistical Review of World Energy June 2018. BP: Energy economics.
2. ИТС по НДТ ИТС 37–2017 «Добыча и обогащение угля», Москва, Бюро НДТ, 2017 — 294 с.

Д.Ю. Миронова, студ.; рук. Н.А. Большакова, асс. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АМИНОСОДЕРЖАЩИХ РЕАГЕНТОВ НА ПОКАЗАНИЯ АНАЛИЗАТОРОВ ХИМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

В настоящее время на ТЭС получили распространение водно-химические режимы с дозированием в конденсатно-питательный тракт комплексных реагентов, включающих в состав пленкообразующие и нейтрализующие амины [1]. Основные компоненты, входящие в состав водной эмульсии аминосодержащих реагентов: моноэталоамин до 20%, морфолин до 7%, циклогексиламин до 4%, олеилпропандиамин до 3%, алкиламины до 1%.

Химический контроль показателей качества анализируемой среды характеризует состояние водного режима и его соответствие действующим нормам, основными контролируемыми показателями автоматического химического контроля (АХК) являются удельная электрическая проводимость, pH, концентрации кислорода и натрия.

В работах [2,3] отмечено влияние пленкообразующих аминов на работу анализаторов АХК, связанное с образованием пленки на рабочей поверхности датчиков и снижением чувствительности электродной системы. Исследования ПОА проводились и в зарубежных странах [4]. Было выявлено, что при использовании аминосодержащей смеси в водном потоке, скорость показаний датчика удельной электропроводности снизилась, а для pH-метра и Na-метра отмечено более высокое время реагирования.

На сегодняшний день ограничено количество исследований реагентов, содержащих пленкообразующие и нейтрализующие амины.

Задача данной работы состоит в изучении влияния различных марок пленкообразующих аминов и отдельных аминосодержащих компонентов на приборы автоматического химического контроля с целью организации надежного водно-химического режима.

Литература

1. **Петрова Т.И., Дяченко Ф.В., Орлов К.А.** Отечественные и международные документы по использованию реагентов, содержащих пленкообразующие амины, для организации водно-химического режима на ТЭС//Теплоэнергетика 2018 №4 с. 60–64
2. **Богачев А.Ф.** Хеламинный водно-химический режим-котлов-утилизаторов парогазовых установок// Электрические станции. — 2006. — №7. — с. 33–36
3. **O V Yegoshina, V N Voronov, V O Yarovoy and N A Bolshakova**. Cycle chemistry monitoring system as means of improving the reliability of the equipment at the power plants// Journal of Physics: Conference Series-2017 стр. 1–7
4. **M. Lendi, P. Wuhrmann**. Impact of Film-Forming Amines on the Reliability of Online Analytical Instruments// Power Plant Chemistry. 2012, 14 (09)

С.М. Прорехин, студ.; М.В. Бутакова;
рук. О.В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕЙТРАЛИЗУЮЩИХ АМИНОВ НА РАБОЧУЮ ОБМЕННУЮ ЕМКОСТЬ СИЛЬНОКИСЛОТНОГО КАТИОНИТА В СХЕМАХ АВТОНОМНЫХ ОБЕССОЛИВАЮЩИХ УСТАНОВОК

На тепловых электростанциях для очистки возвратного конденсата применяются автономные обессоливающие установки. Качество возвратного конденсата обусловлено наличием в нем корректирующего реагента. Одним из перспективных видов корректирующих реагентов являются композиции на основе нейтрализующих аминов. Использование этих композиций негативно влияет на ионнообменные смолы фильтров автономных обессоливающих установок. Целью исследования являлось определение влияния нейтрализующих аминов, входящих в состав комплексных реагентов, на величину динамической обменной емкости (ДОЕ) сильнокислотного катионита в Н-форме. Лабораторные исследования проводились согласно ГОСТ 20255.2–89 по методу с заданным расходом регенерирующего вещества [1]. Основные результаты опытов приведены в таблице 1.

Табл. 1. Усредненные значения ДОЕ и процент ее снижения в зависимости от концентрации нейтрализующего амина

№	Вещество/ концентрация мг/л	Усредненные значения ДОЕ/% снижения ДОЕ от холостого значения					
		5 мг/л		35 мг/л		350 мг/л	
		Дср, г-экв/м^3	%	Дср, г-экв/м^3	%	Дср, г-экв/м^3	%
1	Циклогексиламин	477	3	469	4,7	345	30
2	Моноэтаноламин	485	1,4	474	3,7	465	5,5
3	Морфолин	-	-	503	0	377	23,4
4	Диметилэтаноламин	-	-	-	-	501	0

Полученные данные могут быть использованы при разработке новых композиций аминов применительно к реальным энергетическим установкам и коррекции режимных карт автономных обессоливающих установок.

Литература

1. **ГОСТ 20255.2–89.** Иониты. Методы определения динамической обменной емкости.

Тет Вей Лин, асп.; рук. О.В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИИ АММИАКА И pH ПРИМЕНИТЕЛЬНО К АММИАЧНЫМ ВХР НА ПАРОСИЛОВЫХ И ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВКАХ ТЭС

Повышение информативности и сокращение объема лабораторного химического контроля в системах мониторинга может быть достигнуто за счет использования алгоритмов косвенного определения ионных примесей в обрабатываемой воде по тракту энергоблока [1]. Реализация подобных алгоритмов позволяет решить задачу полной автоматизации контроля и управления водно-химическим режимом энергоблока.

В современных системах мониторинга используются измерения прямой и Н-катионированной пробы воды и пара с целью выявления загрязнения теплоносителя примесями [2]. Предложенный в данной работе алгоритм диагностики катионного состава основан на строгой взаимосвязи между рядом показателей, таких как: удельная электропроводность, pH и концентрация аммиака.

Табл. 1 Результаты расчета pH и NH_3 в лабораторных условиях

Производительность насоса-дозатора, %	pH		NH^3, мкг/дм3		δ, %	
	расч	изм	расч	изм	pH	NH^3
20	8,40	8,37	127,2	119	0,65	7
40	8,76	8,70	218,3	209	0,72	4,5
60	8,91	8,90	296,9	340	0,1	–12,7
80	9,01	9,00	371,1	430	0,02	–13,7

Разработанный алгоритм позволит получать pH на основе измерения удельной электропроводности пробы питательной воды и сократить количество автоматических измерений в самой нагруженной точке контроля «питательная вода», что приведет к увеличению расхода пробы на остальные приборы автоматического химконтроля в данной точке. В результате апробации алгоритма расчета pH и концентрации аммиака (лабораторные и промышленные испытания) погрешность данного алгоритма расчета не превышает 15%.

Литература

1. **Ларин Б.М.** Совершенствование химического контроля водно-химического режима ТЭС на основе измерений электрической проводимости и pH / Ларин Б.М., Ларин А.Б. // Теплоэнергетика, 2016. — №5. — С. 70–74.
2. **Егошина О.В., Воронов В.Н., Яровой В.О., Большакова Н.А.** Система химико-технологического мониторинга как инструмент повышения надежности работы оборудования ТЭС Материалы Международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики». Москва, 9–11 октября 2017 г. В 2 т., Т. 2. — Издательский дом МЭИ, 2017 — с. 179–180.

С.К. Звонарева, студ.; рук. О.В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАЗРАБОТКИ ИЗОКИНЕТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ОТБОРА ПРОБЫ ВОДЫ И ПАРА

По отечественным и зарубежным данным до 60% всех случаев вынужденных остановов энергоблоков связано с нарушением качества воды и пара. Поэтому важное значение имеет химический контроль, который обеспечивает получение представительной пробы постоянной линейной скорости и требуемого расхода не менее 60 кг/ч. Выполнение этих условий достигается за счет применения устройств для отбора воды и пара. В настоящее время такие устройства разрабатываются на основании руководящего документа [1].

Исследования влияния расхода пробы на определение показателей качества воды показывают, что изменение расхода пробы в диапазоне 20…60 кг/ч приводит к ошибке измерения концентрации (в области 0…5 мкг/дм^3): меди — 400%, железа до 200% и натрия до 70%. Увеличение расхода пробы 40…60 кг/ч ведет к снижению погрешности до 30…60% по продуктам коррозии [2]. Исходя из вышеизложенного, можно заключить: особое внимание должно быть обращено на обеспечение требуемого расхода пробы.

В рамках работы определены диаметры пробоотборных трубок при расходе пробы насыщенного пара равном 60 кг/ч. Для обеспечения требуемого расхода пробы необходимо для среднего давления увеличить диаметр пробоотборной трубки на 2 мм по отношению к пробоотборным устройствам, выполненным на основании [1]. Следовательно, можно предположить, использование стандартных зондов для отбора проб насыщенного пара [1] не обеспечивает требуемого расхода. Поэтому предлагается рассмотреть возможность разработки изокинетических зондов для отбора проб воды и пара с последующей модификацией конструкции зондов применительно к разным уровням давлений.

Литература

1. РД 24.031.121–2012. Методические указания. Оснащение паровых стационарных котлов устройствами для отбора воды и пара.
2. Принципы создания и опытно-промышленное внедрение систем химико-технологического мониторинга на электростанциях. Заключительный отчет: НИР/ Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ), Кафедра технологии воды и топлива (ТВТ); Рук. темы В.Н. Воронов. — 2006. — 21 с.

А.Ю. Логинова, асп.; рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РЕСУРСОСБЕРЖЕНИЯ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ТЭС

Водоподготовительные установки (ВПУ) на ТЭС представлены в подавляющем большинстве установками, реализующими схемы традиционного химического и термического обессоливания воды. Эти схемы характеризуются высокими потребностями в товарных реагентах, а значит, обладают низкими экологическими показателями.

Разнообразные предложения по совершенствованию технологии обессоливания воды и снижению потребности в ресурсах можно разделить на следующие группы:

- совершенствование технологии химического обессоливания на базе действующих установок в целях сокращения расхода реагентов и стоков;
- разработка схем химического обессоливания на основе противоточных технологий ионного обмена;
- создание малоотходных технологий на основе термического метода;
- разработка схем обессоливания на основе мембранных методов деминерализации воды.

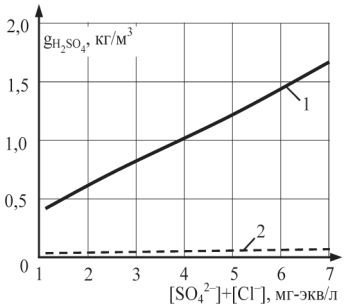


Рис. 1. Удельный расход серной кислоты в зависимости от метода обессоливания и минерализации исходной воды:
1 — химическое обессоливание;
2 — обессоливание на основе обратного осмоса

Наибольший эффект по снижению расхода реагентов даёт переход на мембранные технологии водоподготовки и прежде всего на использование метода обратного осмоса (рис. 1). Однако ВПУ, основанные на мембранных технологиях, характеризуются повышенным, до 50% от производительности установки, расходом сточных вод.

Большие резервы и перспективы по ресурсосбережению обладает установка обратного осмоса в направлении уменьшения потребности в исходной воде, а также утилизации образующегося концентрата в цикле ВПУ. Применение ряда схемных решений для установок обратного осмоса, таких как многокаскадность и подмес [1], позволяет снизить собственные нужды до 30%.

Литература

1. **Бушуев, Е.Н.** Технология обессоливания воды на ТЭС на основе мембранных методов / Е.Н. Бушуев, Н.В. Бушуева; ФГБОУВО «ИГЭУ». — Иваново, 2017. — 144 с.

Г.С. Тассо, студ.; рук. Е.В. Зайцева, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

К ВОПРОСУ О ХИМИЧЕСКИХ ОЧИСТКАХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

На внутренней поверхности котлов во время их работы, а также и во время простоя образуются отложения различные по химическому составу и по структуре. Это неизбежный, прогрессирующий процесс.

В [1] указаны следующие причины образования отложений: изменения в составе воды вследствие нагрева и концентрации, а также выделением твердых отложений; накопление на поверхности котла различных суспензий; коррозия металла и образование отложений из продуктов коррозии.

Для удаления накипей с теплопередающих поверхностей применяются химические очистки, т.е. специальные многоступенчатые мероприятия, проводимые с целью предупреждения коррозии теплоэнергетического оборудования и удаления с его внутренних поверхностей различных загрязнений, которые могут привести к необратимым последствиям.

На тепловых электрических станциях применяют два вида химических промывок: предпусковые и эксплуатационные.

Эксплуатационные промывки проводят для удаления продуктов коррозии и отложений, образовавшихся в процессе эксплуатации. В отличие от предпусковой очистки, проводимой один раз после установки нового оборудования, эксплуатационные промывки могут повторяться многократно.

Выбор чистящих реагентов в основном определяется такими факторами: состав отложений, тип и конструкционные материалы оборудования.

Заключительный этап химических очисток — пассивация, при которой очищенную поверхность металла обрабатывают спецрастворами сильных окислителей (нитриты) или сильных восстановителей (гидразин) [2].

Применение всех чистящих теплоэнергетическое оборудование реагентов сопровождается наличием высоко загрязнённых сточных вод, сброс которых может нанести серьёзный вред окружающей среде.

Проведены серии опытов по определению состава сточных вод после химических промывок, из которых выявлено, что стоки в основном содержат соединения кальция и магния. И на основе полученных данных разрабатываются мероприятия по их утилизации.

Литература

1. **Марьяновский Я., Наликовский А., Пётшковская А., Курьяков А.** Химическая очистка паровых котлов от отложений и продуктов коррозии традиционными методами и методом «в работе». // Новости теплоснабжения. 2014. №01 (161).
2. **Будаева А.Ю., Бушуев Е.Н.** Исследование процесса удаления отложений с внутренних поверхностей нагрева паровых котлов // Материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 175-летию со дня рождения Н.Н. Бенардоса. — Иваново, 2017. — Т. 2. — С. 144–147.

Е.А. Селиванов, асп.; рук. Т.И. Петрова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ МНОГОМЕРНЫХ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИОНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Одним из критериев выбора оптимального водно-химического режима (ВХР), является минимизация процессов коррозии конструкционных материалов [1]. Оценку протекания коррозионных процессов можно провести экспериментальным и расчетным путем. Для расчетной оценки используются математические модели. Одним из методов оценки, является построение диаграмм состояния металла, по которым можно оценить области существования соединений различных металла в системе металл — вода. Такие диаграммы также называют диаграммы Пурбэ. Использование указанных диаграмм имеет несколько условий: постоянство температуры, давления, активностей компонентов рассматриваемой системы металл — вода, состава системы [1]. Эти ограничения не дают возможности точно прогнозировать области существования соединений металлов для условий работы реального оборудования.

Разрабатываемый метод построения многомерных диаграмм состояния конструкционного материала позволяет определять состояние рассматриваемой системы металл — вода при изменении параметров и состава примесей в воде. В основу метода расчёта было положено уравнение более двух компонентов,

$$E(T) = f\left(pH(T), Me, Rg(T)\right) = E_0(T) + \sum K_m(T) \cdot \Psi_m \qquad (1),$$

где $E_0(T)$ — стандартный окислительно-восстановительный потенциал;

$K_m(T)$ — температурный коэффициент; Ψ_m — pH, активность иона металла Me, активность иона реагента Rg не влияющего на pH системы.

Расчеты, проведенные по данному уравнению, согласуются с применяемыми ранее расчетами для диаграмм Пурбэ, которые были проверены на реально работающем оборудовании и дополняют их. В дальнейшей работе планируется сравнение расчетов с промышленными и лабораторными экспериментальными данными.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-38-90213

Литература

1. **T.I. Petrova, E.A. Selivanov** Using of Pourbaix diagram for evaluation of water chemistry recommended for ultra-supercritical parameter of water coolant Journal of Physics: Conference Series 891 (1), 012262

М.Х. Чжо аспирант; рук. А.Е. Верховский к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОЗИРОВАНИЯ ФОСФАТОВ КОТЕЛ-УТИЛИЗАТОР

Как правило, контроль за водно — химическим режимом осуществляется либо по значениям концентраций корректирующего реагента в контурах, либо по косвенным показателям, таким как pH и электропроводность.

Для создания алгоритма дозирования фосфатов необходимо связать доли расходов по каждому контуру котла утилизатора и проводить измерения электропроводности теплоносителя в воде каждого контура и электропроводности в водяном объеме барабана высокого, среднего и низкого давлений с учетом кратности упаривания в барабане каждого из контуров и электропроводностью, которую дают сами фосфаты.

Таким образом, при дозировании фосфатов в каждый из контуров, с учетом кратности упаривания для каждого контура, общие электропроводности каждого из контуров, запишутся в следующем виде:

для контура низкого давления:

$$\chi_{НД} = \frac{(1-\alpha)\times D_{ПВ}\times\chi_{ПВ}}{D_{ПР,НД}} + \chi_{Ф} \quad (1)$$

для контура среднего давления:

$$\chi_{СД} = \frac{\alpha\times\beta\times D_{ПВ}\times\chi_{ПВ}}{D_{ПР.СЛ}} + \chi_{Ф} \quad (2)$$

для контура высокого давления:

$$\chi_{ВД} = \frac{\alpha\times(1-\beta)\times D_{ПВ}\times\chi_{ПВ}}{D_{ПР,ВД}} + \chi_{Ф} \quad (3)$$

Рис 1. Схема автоматического дозирования фосфатов в барабан низкого давления.

Список литературы.

1. **Мо Хейн Чжо, Верховский А.Е., Бухаров Д.Г., Гаджиев К.Г., Аунг Ту Мо** Создание алгоритмов дозирования корректирующих реагентов в котел-утилизатор при двухбарабанной схеме подачи питательной воды // Новое в российской электроэнергетике, №9, 2019 г., стр. 6–10. ISSN 2312-055X.

А.Е. Воронин, Ф.О. Выбойченко, студенты;
рук. Т.И. Петрова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ НА ТЭС С ГРАДИРНЯМИ ГЕЛЛЕРА: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

В настоящее время в засушливых районах или в регионах, где использование воды является дорогим, для охлаждения конденсата турбоустановок применяются градирни Геллера, в которых охлаждающей средой является воздух. В качестве основного конструкционного материала в такой системе охлаждения используются сплавы на основе алюминия. В таких системах кроме сплавов алюминия используются стали, что осложняет выбор водно-химического режима (ВХР) для энергоблоков, т.к. минимальная скорость коррозии для сплавов алюминия находится в диапазоне pH 5,5–6,5, а для сталей выше 9 [1]. Одной из проблем при использовании алюминиевых сплавов является поступление продуктов коррозии алюминия в питательную воду, а затем в пар и образование отложений в проточной части паровых турбин. Поэтому при использовании таких градирен одним из важных вопросов является выбор ВХР. В литературе описывается влияние различных факторов, как теплофизических, так и химических, на скорость коррозии сплавов алюминия и состав образующейся на поверхности металла плёнки. В частности, при температурах 25–30 °С образуется многослойная защитная плёнка, которая состоит из продуктов окисления алюминия таких, как гидроокись алюминия ($Al(OH)_3$) и оксигидроокись ($AlOOH$). Отмечается, что структура образующихся пленок существенно зависит от температуры и состава примесей, содержащихся в воде [2]. В работе дан анализ литературных данных о влиянии водно-химических режимов на коррозию сплавов алюминия. В связи с тем, что на ТЭС используются комплексные реагенты, содержащие плёнкообразующие амины, сделано предположение о возможности их использования для коррекции ВХР для 2-х типов систем охлаждения с градирнями Геллера.

Литература

1. **Василенко Г.В., Зарембо В.И.** Химия воды и пара в энергетических установках тепловых электростанций. Санкт — Петербург, 2007
2. **Василенко Г.В., Зенкевич Ю.В., Мазурова О.К.** Особенности водного режима ТЭС с теплообменниками из алюминиевых сплавов/ В сб. «Водоподготовка, водный режим и химконтроль на паросиловых установках» / М.: Энергия вып. 6, 1978г

Д.С. Леонова, М.А. Емелин, Е.В. Шевченко, С.А. Козлова
студенты; рук. Е.А. Селиванов, асс. («НИУ «МЭИ»)

ОБЗОР ДАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ В ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗИРОВАННОЙ ВОДЕ

Проблема коррозии в элементах энергетических установок, контактирующих с высокоминерализованной водой, в современном мире остается актуальной и, следовательно, требует поиска новых решений.

Основными элементами энергетического оборудования, подверженными коррозией, являются: котлы, питательные трубы, экономайзеры, внутрибарабанные устройства. [1]

В имеющихся исследованиях предлагаются методы защиты от коррозии: использование коррозионно-стойких металлов, легирование сплавов на основе меди и титана, изоляция защищаемой поверхности покрытиями, снижение агрессивности коррозионной среды методами водоподготовки и т.д. [1, 2]

В работах [1–3] отражены результаты по основным методам защиты от коррозии в судовых энергетических установках. Важно отметить, что одним из основных методов борьбы с коррозией в высокоминерализованных водах, является электрохимическая защита металла. Этот вид защиты, нашел широкое применение для понижения интенсивности коррозионных процессов на поверхности металлических конструкций в морской воде, корпусов судов, подземных сооружений. [2,4]

Как показывает анализ литературных источников, высокотемпературный нагрев недеаэрированной морской воды и высокое содержание растворенного кислорода в сочетании с повышенными температурами вызывают большую интенсивность коррозионного износа оборудования. [1,4]

Литература

1. **Богород И.Я., Искра Е.В., Климова В.А., Кузьмин. Ю.Л.** Коррозия и защита морских судов / Л.: Судостроение, 1973.
2. **Яндушкин К.Н., Дризен К.В., Образцов Б.М., Алексеенко И.Л.** Коррозия и защита трубопроводов / Л.: Судостроение, 1978.
3. **Дыхно А.Ю.** Использование морской воды на тепловых электростанциях. М.:Энергия, 1974
4. **Медведева Г.А., Садыков Р.А., Лабуткин А.Г.** Современные методы защиты теплогенерирующих установок и систем теплоснабжения от накипи и коррозии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. — 2014. — №. 5–6. — С. 35–42.

В.С. Ландык, студ.; рук. О.В. Егошина, к. т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОБЫ НА СКОРОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА

Известно, что анализаторы автоматического химического контроля применяемые в системах мониторинга должны эксплуатироваться при температуре анализируемой среды 25 °С. Превышение температуры пробы выше 30 °С даёт дополнительную погрешность при измерении. Поэтому одной из причин искажения показаний анализаторов и изменения динамических свойств анализаторов является повышенная температура пробы, что сказывается на точности определения измеряемой величины. Отсюда появляется вопрос изучения влияния температуры на показания кондуктометра.

В результате выполненного исследования была установлена закономерность изменения постоянной времени при пропускании через датчик растворов аммиака, гидрокарбонатов и их смеси. Результаты проведенных экспериментов представлены на рисунке 1.

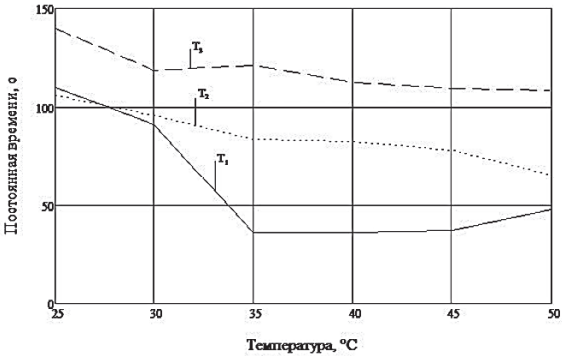


Рис. 1. Зависимость температуры 25–50 °С от постоянной времени, где T_1 — дозирование в тракт гидрокарбонатов, T_2 — дозирование в тракт аммиака, T_3 — дозирование гидрокарбонатов и аммиака

Таким образом, можно сделать вывод, что характер зависимости постоянной времени от температуры одинаковый применительно к различным растворам. Наибольшее изменение постоянной времени необходимо отметить для раствора аммиака в диапазоне температур 25…50 °С.

Литература

1. **Егошина О.В., Воронов В.Н., Макарищева Н.А.** Экспериментальное исследование динамических свойств анализаторов химического контроля. «Теплоэнергетика» М.: МЭИ №5, 2015, с. 63–66

П.С. Большаков, студ. рук О.В. Егошина к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СВОЙСТВ ВОДНЫХ И ПАРОВЫХ РАСТВОРОВ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ДАВЛЕНИЯХ

Современная энергетика характеризуется использованием теплоносителя высоких параметров на тепловых и атомных электростанциях, что предполагает существенное повышение требований к качеству теплоносителя. Это связано с тем, что по данным зарубежных источников до 60% общего числа нарушений в работе ТЭС происходит по причинам нарушения ВХР [1]. Несмотря на высокие требования к качеству воды и пара, в пароводяном тракте ТЭС и АЭС протекают процессы коррозии и образования отложений. Известно, что на скорость протекания этих процессов влияют многие факторы: концентрация примесей в теплоносителе, тип водно-химического режима, тепловой поток и др. [2]. С целью прогнозирования протекания процессов коррозии и образования отложений необходимо давать оценку каждому из предполагаемых факторов и выделять основные, что возможно сделать только на основании экспериментальных данных.

Для изучения закономерностей коррозионных процессов и процессов образования отложений на кафедре технологии воды и топлива НИУ «МЭИ» была разработана и в течение многих лет использовалась экспериментальная установка, которая позволяет моделировать процессы, протекающие в пароводяном тракте тепловых электростанций, и решать комплекс задач, связанных с процессами образования отложений и скоростью коррозии конструкционных материалов, а именно: изучать влияние теплотехнических параметров, водно-химических режимов и др. на вышеуказанные процессы при давлениях до 24 МПа и температурах до 600 °С.

На данной установке было выполнено большое количество исследований, которые позволили получить функциональные зависимости по скорости образования отложений и коррозии металла в воде при высоких температурах и давлениях. Уникальность установки заключается в разработке и создании модели энергоблока тепловой электростанции, позволяющей решать достаточно много взаимосвязанных задач в широких диапазонах изменения давления и температуры теплоносителя.

Литература

1. **Dooley R.B.** Fossil plant cycle chemistry and availability problems // ESCOM/EPRI Cycle chemistry symposium. South Africa, 1994.
2. **В.Н. Воронов, Т.И. Петрова.** Водно-химические режимы ТЭС и АЭС. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009, 240 с.

Д.С. Леонова, М.А. Емелин, Е.В. Шевченко, С.А. Козлова студенты;
рук. Е.А. Селиванов, асс. («НИУ «МЭИ»)

ОБЗОР ДАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗИРОВАННОЙ ВОДЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Проблема влияния накипеобразования на процесс теплообмена в парогенераторах очень распространена на данный момент, и требует тщательного исследования, так как накипь снижает эффективность установок.

Работоспособность поверхностей нагрева установок зависит от многих факторов, таких как: выбор тепловой схемы, конструктивные решения, учитывающие качество питательной воды, отработка конструкторских решений на технологичность. [1]

Основными причинами отказов в работе установок являются зарастание поверхностей нагрева накипью и коррозионные разрушения [1]. С термодинамической точки зрения процесс накипеобразования рассматривается как переход всей системы в равновесное состояние. В парогенерирующих установках накипь присутствует в трёх основных формах: первичная накипь, шлам-накипь, вторичная шлам-накипь. Первым условием образования кристаллов из раствора является наличие центров кристаллизации. Вторым условием является пересыщение раствора по накипеобразованию. Основными компонентами накипи, выпадающей из морской воды являются углекислый кальций $CaCO_3$, гидроксид магния $Mg(OH)_2$ и сернокислый кальций в виде гипса $CaSO_4$, полугидрата $CaSO_4$*$I/2H_2O$, ангидрита $CaSO_4$.

Изучение накипи под микроскопом показало, что шероховатость ее поверхности и размер кристаллов зависят от температуры и времени пребывания воды в испарителе. Изменение структуры накипи объясняется тем, что при достижении слоем накипи определенной толщины (0,1…0,2 мм) происходит не только концентрация солей жёсткости под пузырьком пара, но и прикипание шлама, обезвоживание нижних слоёв и, как следствие, ее уплотнение и неограниченный рост накипи.

Литература

1. **Добржанский В.Г. и др**. Накипеобразование и теплообмен при кипении морской воды //Труды Дальневосточного государственного технического университета. — 2004. — №. 138. — С. 74–80. / В.Г. Добржанский, Карастелев Б.Я., В.Н. Слесаренко, Олейник С.Ю.

А.Ю. Федорова, асс.; рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н, доц. (ИГЭУ, Иваново)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ОТ ОТЛОЖЕНИЙ В ЭКРАННЫХ ТРУБАХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Для обеспечения надёжной работы парового котла периодически проводят эксплуатационные очистки внутренних поверхностей пароводяного тракта. Для таких очисток используются традиционные и новые моющие кислотные реагенты. Для разработки программы эффективной химической очистки (ХО) требуется прогнозировать её необходимую длительность с учётом свойств используемого моющего реагента и загрязнённости. Традиционно необходимое время ХО оценивают по результатам лабораторных опытов. Целью исследования является получение аналитических зависимостей и определение характеристик, описывающих кинетику кислотной стадии ХО экранных труб паровых котлов [1].

Выполнено лабораторное исследование эффективности кислотных стадий ХО с применением растворов соляной кислоты и реагентов на её основе.

По результатам проведенных исследований, учитывая характеристику отложений (двухслойные равномерные железооксидные отложения и двухслойные железооксидные отложения с бугорчатыми участками), можно сделать следующие выводы:

1. Моющее действие проверенных реагентов основано на разрыхлении и растворении отложений.

2. Скорость химической очистки пропорциональна удельной загрязнённости образцов труб вследствие пористости отложений и кислотности моющего раствора.

3. Рассчитаны «условные» константы скоростей очистки трубных образцов проверенными реагентами, которые имеют близкие значения.

4. Рассчитана длительность ХО, которая максимальна при наличии бугорчатых отложений [2].

5. Полученные опытные данные могут быть использованы при выборе технологии проведения кислотной очистки для установления её необходимой продолжительности.

Литература

1. Химические очистки теплоэнергетического оборудования. Вып. 2 / под ред. Т.Х. Маргуловой. — М.: Энергия, 1978. –175 с.
2. **Федорова А.Ю., Бушуев Е.Н.** Определение кинетических характеристик химической очистки от отложений в испарительных трубах паровых котлов // Вестник ИГЭУ. — 2019. — №. 4. — С. 5–11.

И.И. Бухарин, асп.; рук-ли К.А. Орлов зав. каф. ТОТ, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»); И.Л. Харина к.т.н., г.н.с. (АО «НПО «ЦНИИТМАШ»)

ПРОБЛЕМЫ КОРРОЗИИ АУСТЕНИТНЫХ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС И АЭС В УСЛОВИЯХ ВОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Исходя из сложных условий работы металлов, в качестве конструкционных материалов, практически всех элементов станции вопрос долговечности оборудования станций находится под постоянным вниманием специалистов.

Это относится как к низколегированным сталям, так и к нержавеющим сталям, эксплуатирующихся в условиях статических и динамических нагрузок.

Вопросу долговечности элементов электростанций уделялось и уделяется большое внимание, о чём свидетельствует весьма внушительный объём литературы с одной стороны, а с другой стороны вовлечённость научных предприятий, каждое из которых вносит свой индивидуальный вклад.

В данной работе, приведены результаты исследования образцов аустенитной нержавеющей стали типа 08Х18Н10 на стойкость к локальной коррозии в статических условиях при температуре 320–350 °С и равновесном давлении, с различным содержанием коррозионно-активных компонентов (в том числе и с различной концентрацией растворённого кислорода). В опытах использовали образцы, нагруженные по методу постоянной деформации при напряжении растяжением выше предела текучести $\sigma \geq \sigma_{0,2}$ длительностью до 3000 ч. Оценивалась стойкость к коррозионному растрескиванию и других видов коррозии (питтинговой и др.)

Исходя из возможностей лаборатории дальнейшем предполагается продолжить исследования по стойкости материалов к указанным видам коррозии в условиях автоклавных испытаний при больших параметрах среды (по температуре и давлению), что вызывается повышением мощностей станций.

Литература

1. **Клименко А.В., Зорин В.М.** Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы. Книга 1. — М.: Издательство МЭИ, Москва, 2000.
2. **Погодин В.П., Богоявленский В.Л.** Межкристаллитная коррозия и коррозионное растрескивание нержавеющих сталей в водных средах. М.: Атомиздат, 1970.
3. **Герасимов В.В.** Прогнозирование коррозии металлов. М.: Металлургия, 1989.
4. **Герасимов В.В., Монахов А.С.** Коррозия реакторных материалов, Москва, ЦНИИатоминформ, 1994.

Е.М. Иванова, студ.; рук. О.В. Егошина, д.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ НИЗКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ИОНОВ НАТРИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ВОДАХ ТЭС

Для обеспечения надежной и безаварийной работы оборудования без образования накипи, отложений и коррозии его внутренних поверхностей необходимо обеспечивать качество воды и пара в пределах установленных норм согласно требований ПТЭ [1,2]. В этих условиях химический контроль должен обеспечивать надежное и своевременное получение информации о нормируемых параметрах ВХР путем прямого измерения или косвенного (расчетного) определения соответствующих показателей. Надежность работы энергетического оборудования находится на высоком уровне именно на тех ТЭС, где больше внимания уделяется поддержанию ВХР на должном уровне. Поэтому исследование работы анализатора натрия является актуальным.

В ходе данной работы были проведены: проверка работы блока автоматического дозирования водного раствора аммиака, пропускание растворов низкой концентрации для определения погрешности. На погрешность измерений влияет концентрированный раствор KCl, истекающий из электрода сравнения, что ведет к искажению показаний анализатора натрия. Коэффициент селективности натрий-селективных измерительных электродов по отношению к ионам калия не очень велик и составляет ~10^{-2}, и в результате анализатор начинает вместо ионов натрия реагировать на ионы калия. Поэтому такие измерения производились при протоке пробы, для предотвращения накопления ионов калия в ячейке.

Для выполнения измерений низких концентраций натрия использовались специальные гидравлические устройства, которые включают в себя систему регулирования расхода и стабилизации протока, устройство подщелачивания пробы и проточную измерительную ячейку.

Литература

1. **Сметанин Д.С., Готовцев П.М., Егошина О.В.** Перспективы развития систем химико-технологического мониторинга. «Энергопресс» Новое в Российской энергетике М. № 8, 2009
2. **Воронов В.Н., Егошина О.В.** Современное состояние систем химико-технологического мониторинга на тепловых электростанциях на основе опыта МЭИ — НПЦ «Элемент» «Теплоэнергетика» М.: МЭИ №3, 2014, с. 39–46

А.А. Данилина, студент; рук. Е.А. Карпычев, к.т.н. (ИГЭУ, Иваново)

АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ ЖЕЛЕЗООРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ИОННООБМЕННОМ МАТЕРИАЛЕ

Высокоосновные аниониты со временем, и особенно в условиях работы на осветленной воде, не удовлетворяющей требованиям по содержанию железоорганических примесей, подвергаются процессам «старения» и «отравления».

Проведены лабораторные исследования эффективности восстановительной обработки анионита, проработавшего в цикле полного химического обессоливания в течение 5 лет. Промежуточные результаты восстановительной обработки приведены в таблице 2.

Табл. 1. Типовые физические и химические характеристики ионита

Структура полимера	Гелевая, полистирол сшитый дивинилбензолом
Внешний вид	Сферические зёрна
Ионная форма	Cl^-
Полная обменная ёмкость	1.3 г-экв/л (28.4 Килогран/куб. фут) (Cl^- форма)
Функциональная группа	Четвертичный Аммоний Типа I

Табл. 2. Результаты контроля восстановительной обработки анионита в динамических условиях

Время (мин)	Кислотная стадия обработки			Соле-щелочная стадия обработки			
	I этап отмывки (λ=413 нм) Q=2,88 м³/ч	II этап отмывки (λ=413 нм) Q=2,88 м³/ч	III этап отмывки (λ=413 нм) Q=2,88 м³/ч	I этап отмывки (λ=413 нм) Q=1,20 м³/ч	II этап отмывки (λ=590 нм) Q=2,88 м³/ч	III этап отмывки (λ=590 нм) Q=2,88 м³/ч	IV этап отмывки (λ=590 нм) Q=2,88 м³/ч
10	0,329	0,296	0,323	1,435	0,455	0,492	0,448
20	0,206	0,295	0,319	1,435	0,441	0,450	0,501
30	0,180	0,296	0,313	1,435	0,475	0,453	0,451
40	0,174	0,299	0,312	1,435	0,454	0,445	0,492
Ср. знач.	0,266	0,293	0,320	1,434	0,387	0,452	0,445

По результатам лабораторных экспериментов установлено, что восстановительная обработка в целом дает положительный эффект. Наиболее эффективной стадией обработки с учетом эффекта вымывания железоорганических соединении является соле-щелочная обработка. Полученные результаты можно использовать для уточнения режима очистки ионитов.

А.А. Данилина, А.Е. Орлов, студенты;
рук. Е.А. Карпычев, к.т.н. (ИГЭУ, Иваново)

АНАЛИЗ СОСТАВА ОТЛОЖЕНИЙ НА ИНЕРТНОМ МАТЕРИАЛЕ PUROLITE IP-4

На ряде ВПУ ТЭЦ существует проблема, связанная с уменьшением рабочих параметров ионообменных материалов. В большинстве случаев это связано с «отравлением» ионитов железоорганическими соединениями [1].Актуальность темы исследования объясняется отсутствием информации о влиянии указанных отложений на качество вырабатываемой воды и способах их удаления.

Авторами впервые выполнен анализ пробы загрязнённого инертного материала на предмет растворения отложений в неорганических кислотах и щелочах, а также количественного состава загрязнителя.

По результатам анализа установлено, что основным загрязнителем являются соединения железа. Содержание соединений железа в пересчёте на Fe_2O_3 составляет 58,1%.Относительная потеря массы образца инертного материала при прокаливании (П.П. П.) составила 1,41%.

На основании полученных результатов сформулированы основные выводы и рекомендации по удалению указанных отложений:

— «отравление» ионитов в основном происходит гуматами, в том числе и гуматами железа, которые в свою очередь задерживаются как в ионите, так и на поверхности инертного материала;

— негативного влияния на технологический процесс обессоливания отложения на поверхности инертного материала Purolite IP-4 не оказывают;

— одним из технологических способом очистки инертного материала может быть его обработка подогретым раствором соляной кислоты, при этом крепость раствора должна быть не менее 15%.

Полученные результаты исследования могут быть использованы в системах водоподготовки при подборе моющих реагентов и их концентраций для выполнения очистки фильтрующих материалов.

Литература

1. **А.Я. Сорокина**, **Е.Г. Ухалова, А.Ю. Будаева, Е.А. Карпычев.** Исследование эффективности восстановительной обработки высокоосновного анионита Purolite A-400. Материалы междунар. науч.-техн. Конф. «XVIII Бенардосовские чтения» «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии». Иваново, 27–29 мая 2015 г. В 2 т. Т 2 / Под ред. С.В. Тарарыкина, В.В. Тютикова, В.А. Шуина и др. — Иваново: ФГБОУ ВПО «Иван. гос. энерг. ун-т им. В.И. Ленина», 2015 — 339 с. С. 78–81.

Секция 46.
СХЕМЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Председатель секции — Дудолин Алексей Анатольевич
Секретарь секции — Крашенинников Сергей Михайлович

Л.А. Погосов асп.; рук. В.Д. Буров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ГТУ-ТЭЦ

ГТУ-ТЭЦ позволяют при низких капитальных затратах обеспечить население электроэнергией и теплом. Однако, при проектировании отопительных ГТУ-ТЭЦ имеется ряд сложностей, которые препятствуют масштабному внедрению и нормальной эксплуатации таких установок.

Одной из основных проблем является регулирование отпуска тепла на газотурбинных ТЭЦ. Основная проблема заключается в том, что при снижении температуры наружного воздуха температура уходящих газов (УГ) снижается, и теплота УГ изменяется незначительно, в том время как температура прямой сетевой воды увеличивается с 80 °С до 150 °С и тепловая нагрузка сетевого потребителя (СП) увеличивается примерно в 5–6 раз.

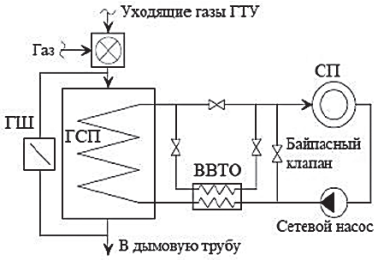


Рис. 1. Утилизационный контур ГТУ-ТЭЦ

Для решения вышеописанных проблем была разработана тепловая схема отопительной ГТУ-ТЭЦ. В качестве основного оборудования выбраны три газотурбинные установки SGT-400 производства Siemens, три пиковых водогрейных котла (ПВК) марки КВГМ-20–150 и спроектированы водогрейные котлы-утилизаторы (КУ). Точкой конструкторского расчёта КУ был принят режим максимальной тепловой нагрузки.

Утилизационный контур схемы приведён на рис. 1. Сетевая вода подогревается горячими УГ в газовом сетевом подогревателе (ГСП). Снижение тепловой нагрузки обеспечивается снижением мощности ГТУ преимущественно входным направляющим аппаратом и байпасированием газов мимо КУ через газовый шибер (ГШ). Для увеличения отпуска тепла предусмотрено дожигание топлива в камере дожигания (КД). Пиковые нагрузки покрываются за счёт ПВК. Для обеспечения требований к минимальной температуре воды на входе в КУ (не менее 55 °С) обратная сетевая вода подогревается в водо-водяном теплообменнике (ВВТО).

Из результатов расчёта тепловой схемы в диапазоне температур наружного воздуха от –25 °С до +15 °С можно сделать вывод, что принятые в схеме решения позволяют осуществлять регулирование отпуска тепловой нагрузки и покрывать сезонные колебания тепловой нагрузки.

К.Н. Бубнов, студ.; рук. Г.Г. Орлов, к.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

РАСЧЕТ ЭФФЕКТА ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫНЕСЕННОГО ПАРООХЛАДИТЕЛЯ В РЕГЕНЕРАТИВНОЙ СХЕМЕ ТУРБИНЫ ПТ-135/165-130/15

С целью снижения удельного расхода тепла на выработку электроэнергии и одновременном повышении выработки электроэнергии на тепловом потреблении для турбоустановок типа ПТ, имеющих отбор пара на производство, существует возможность установки вынесенного пароохладителя (ВПО) на потоке пара из производственного отбора, так как внешний тепловой потребитель (ТП) требует пар в состоянии насыщения. Целесообразно этот отбор совместить с отбором пара на подогреватель (ПВД-5), питаемый из этого производственного отбора. Данный пароохладитель может быть двух типов: на всем потоке питательной воды (рис. 1. А) или с частичным отводом воды из схемы регенерации на ВПО (рис. 1. Б).

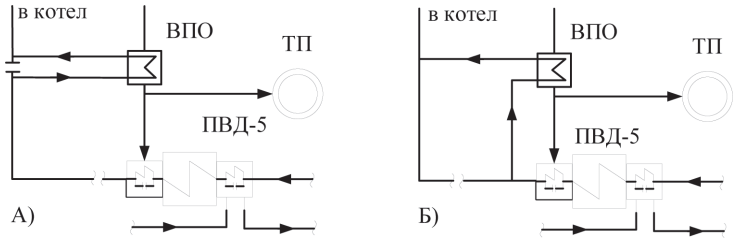


Рис. 1. Схемы использования вынесенного пароохладителя: все обозначения приведены в тексте.

Эффективность предложенных схем относительно эталонной схемы со встроенным пароохладителем в корпус подогревателя (ПВД-5) была оценена методом коэффициентов изменения мощности [1] при условии постоянного расхода тепла в конденсатор турбины – $Q_к$=const.

В результате проведенного расчета было определено, что годовая экономия условного топлива для схемы (рис. 1. А) составит ΔB = 1244,5 т у.т./год, а для схемы (рис. 1. Б) — ΔB = 2325,6 т у.т./год при числе часов использования установленной мощности τ = 6500 ч/год.

Таким образом, применение ВПО, установленных по схемам (рис. 1), позволяет существенно повысить экономичность существующих ТЭЦ.

Литература

1. **Рубинштейн Я.М.** Исследование реальных тепловых схем ТЭС и АЭС. М.: Энергоиздат. 1982.

Д.И. Захарова, студ.; рук. Е.Т. Ильин, к.т.н., доцент. («НИУ «МЭИ»)

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЁМКОСТИ АККУМУЛЯТОРА ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ ОТ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Для расширения регулировочного диапазона турбины Т-110–130 можно использовать тепловые аккумуляторы горячей воды. При аккумулировании воды в аккумуляторах атмосферного типа существует ряд ограничений: регулировочный диапазон котла и турбины, максимальная тепловая нагрузка отборов Q=203,5 МВт, допустимое давление в отборе ($Рсп_2$<0,25 МПа), расход воды через сетевые подогреватели должен находиться в диапазоне от 1000 т/ч до 4500 т/ч, ре. Кроме этого, температура теплоносителя в баке-аккумуляторе (БА) атмосферного типа не превышает 95 °С.

Существенное влияние на реализацию технологии и на эффективность от её использования оказывает и температурный график тепловой сети. Когда температура прямой сетевой воды, согласно температурному графику тепловой сети, больше 95 °С, изменяется технологическая схема включения БА в теплофикационную установку. Так же существенно изменяется количество аккумулируемой теплоты в БА, т.е. используемая тепловая ёмкость системы аккумулирования. Её изменение в зависимости от температуры наружного воздуха приведено на рис. 1.

Рис. 1. Изменение используемой тепловой емкости БА в зависимости от температуры наружного воздуха

В ходе расчетов определены показатели тепловой экономичности турбоустановки с учетом температурного графика тепловой сети для города Москвы и ограничений при применении технологии. Проведена оценка экономического эффекта от применения БА с учетом климатической маски для города Москвы в течение отопительного сезона.

Литература

1. **Готлиб А.И.** О возможном расширении регулировочного диапазона электрической мощности теплофикационной турбины типа Т с использованием баков-аккумуляторов сетевой воды: Реферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.14.14. — Алма-Ата, 1991. — 20 с.

А. С. Воронкова, студ.; рук. О.В. Боруш, к.т.н., доц. (НГТУ, Новосибирск)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВУХТОПЛИВНЫХ ПГУ НА ДОКРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ ПАРА

Альтернативным вариантом «чисто» угольных технологий в регионах со значительной долей газа в топливном балансе может служить переход к двухтопливным парогазовым установкам (ПГУ). Такие установки могут найти применение не только при строительстве новых энергетических объектов, но и при модернизации уже существующих. [1]

Рассматриваемая ПГУ включает в себя газотурбинную установку (ГТУ) с камерой сгорания (КС), котел-утилизатор (КУ) и паротурбинную установку (ПТУ) с паровым котлом (ПК). Газотурбинная установка мощностью 100 МВт обеспечивает выработку электроэнергии за счет сжигания газа в КС, помимо этого отработавшие в ГТУ газы направляются в КУ. В КУ генерируется часть пара, в последующем совмещаемая с паровым потоком ПТУ, а также обеспечивается частичное вытеснение системы регенерации ПТУ за счет разделения общего потока питательной воды. В свою очередь ПТУ мощностью 200 МВт обеспечивает выработку электроэнергии и представляет собой паровую турбину с одним промежуточным перегревом и системой регенерации, включающей в себя подогреватели низкого давления, деаэратор и подогреватели высокого давления. ПК за счет сжигания угля обеспечивает паровую турбину острым паром с параметрами p_0 = 13 МПа и t_0=540˚С и паром промежуточного перегрева. [2]

На основании предложенной схемы был выполнен расчет установки при работе в двух режимах: автономный и режим ПГУ. Кроме этого рассмотрено влияние изменения температуры питательной воды.

По полученным результатам можно сделать вывод, что работа установки в режиме ПГУ приводит к увеличению КПД по выработке электрической энергии (38,76% в автономном режиме и 47,75% в режиме ПГУ), и как следствие к сокращению удельного расхода условного топлива (с 0,317 кг у. т./кВтч до 0,258 кг у. т./кВтч). Помимо этого видно, что увеличение $t_{пв}$ на 40˚С приводит к повышению КПД на 2% и сокращению расхода топлива на 3%.

Литература

1. **Ольховский Г.Г.** Парогазовые установки на угле. М.: ВТИ, 2000.
2. **Щинников П.А.** Расчет двухтопливной ПГУ с параллельной схемой работы: учеб. пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018.

А.А. Ани, асп.; рук. А.А. Дудолин к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ СОЛНЕЧНО-ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В республике Бангладеш активно развиваются новые виды энергоисточников, в том числе на базе гибридных солнечных технологий. В этой связи, в работе были проведены исследования об использовании данных электростанций (Рис. 1). Экектрическая станция состоит из блока ПГУ на базе ГТУ типа GE 9371FB и солнечного парогенератора, которые позволяют увеличить КПД нетто комбинированного цикла до 59%. Результаты расчета приведены в таблице 1.

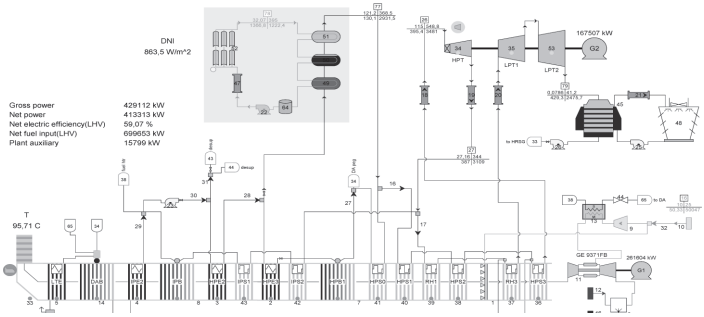


Рис. 1.

Табл. 1

Параметр	Ед. изм	Величина
Давление окружающей среды	бар	1,007
Температура окружающей среды	°С	35
Относительная влажность	%	40
Температура окруж. среды по влажному термометру	°С	23,93
Мощность электрическая брутто	кВт	429112
КПД электрический брутто	%	61,33
Удельный расход тепла брутто	кДж/кВт·ч	5870
Мощность электрическая нетто	кВт	413313
КПД электрический нетто	%	59,07
Удельный расход тепла нетто	кДж/кВт·ч	6094
Теплотворная способность топлива	кВт	699653
Коэффициент использования теплоты топлива	%	59,07
Затраты электроэнергии на собственные нужды	кВт	15799
Расход питательной воды	т/ч	504,6
Расходование воды на солнечный парогенератор	т/ч	103,3

Литература

1. **Цанев С.В.** Газотурбинные энергетические установки/ С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов. — М — Издательский дом МЭИ, 2011.

А.А. Лисицын, асп.; рук. Е.Т. Ильин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

О ПРИНЦИПАХ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЭС EMAS. ОРТ НА ПРИМЕРЕ ВЫБОРГСКОЙ ТЭЦ-17 (ПАО «ТГК-1»)

В настоящее время в сфере организации работы ТЭЦ актуальной является проблема оптимизации их режимов работы. Данный вопрос включает в себя расчет наиболее выгодных ценовых заявок на РСВ, БР и выбор оптимального состава включенного генерирующего оборудования.

В настоящее время для данной цели существует множество различных программных комплексов [1]. В работе используется информационно-аналитическая система EMAS. ОРТ.

Ниже приведены основные принципы и этапы работы программы, для обеспечения повышения эффективности работы ТЭЦ.

1) Калибровка энергетических характеристик на фактических данных, полученных непосредственно от станции (данные предоставляются за различные периоды времени — присутствуют как летние режимы, так и зимние);

2) Разработка математической модели оптимизируемой ТЭЦ, с учетом оптимизации распределения электрической и тепловой нагрузки между агрегатами. В качестве критерия оптимальности используется максимальный маржинальный доход;

3) Проверка работоспособности математической модели путем сопоставления фактических и расчетных данных с погрешностью счета модели не более 3% по расходу натурального топлива;

4) Проведение расчётов по распределению тепловой и электрической нагрузки между агрегатами с учетом ожидаемых цен на РСВ и цен на топливо. Расчет проводится для каждого часа суток с учетом ограничений на регулировочный диапазон изменения нагрузки и других технологических ограничений.

На основании предварительных результатов реализации данной модели на Выборгской ТЭЦ-17, среднесуточный эффект по сравнению с ранее имевшими место режимами работы, за ноябрь 2018 года составил от 30 тыс. руб до 160. тыс руб в сутки дополнительного маржинального дохода (в среднем — 67 тыс. руб. за сутки). Ожидаемый годовой доход при реализации и использовании данной системы на производстве — около 18 млн. рублей.

Литература

1. **Чалбышев А.В.** Оптимизация режимов работы ТЭЦ с учетом современных условий их функционирования в составе электроэнергетической системы: автореф. … канд. техн. наук. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. 26 с.

К.А. Лихачева, студ.; рук. Г.Г. Орлов, к.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

ПОВЫШЕНИЕ МОЩНОСТИ ТЭС С БЛОКАМИ 800 МВт, СЖИГАЮЩИМИ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ

В настоящее время наблюдается резкое повышение потребления природного газа в энергетике многих стран мира. В России в 2018 г. добыча природного газа составила 733 млрд. м^3, а к 2050 г. она должна увеличиться на 40%. Для достижения цели стабильного, бесперебойного и экономически эффективного удовлетворения постоянно возрастающего спроса на природный газ необходимо предусматривать сокращение потерь при его транспортировке, а также осуществлять ресурсо- и энергоснабжение.

В России значительными потребителями газа являются тепловые электрические станции (ТЭС), на которые он поступает от газораспределительных станций (ГРС) с давлением 0,7÷1,3 МПа. Перед котельными агрегатами ТЭС это давление снижается до величины 0,13¸0,2 МПа, за счёт дросселирования газа в газорегуляторном пункте (ГРП). С точки зрения полезной утилизации избыточного давления газа, поступающего в ГРП, и получения дополнительной мощности ТЭС в ГРП целесообразно установить турбодетандерные агрегаты, в которых происходит расширение природного газа до требуемого значения р = 0,13÷0,2 МПа. Однако при расширении газа в турбодетандере его температура значительно снижается и может достигать ощутимых отрицательных значений. При подаче такого газа в котельный агрегат потребуется дополнительно тратить топливо на его нагрев. Чтобы устранить этот недостаток, можно нагреть газ в теплообменнике, установив его на входе или на выходе газа из турбодетандера.

Нами были рассмотрены схемы нагрева природного газа на выходе из турбодетандера в теплообменнике паром из отборов турбины и нагрев этого газа водой в теплообменнике, включенном на байпасе подогревателей низкого давления (ПНД). Такая схема оказалась более эффективной. Вода для нагрева газа циркулирует по контуру: деаэратор цикла, подогреватель для газа, ПНД и снова деаэратор. Установка теплообменника на байпасе ПНД потребует небольшого увеличения расхода воды, проходящей через ПНД, примерно на 5,5%. За счёт отбора пара в ПНД для нагрева воды предлагаемого контура, будет уменьшаться расход пара в конденсатор турбины, что увеличит выработку энергии на регенеративных отборах и сократит потери тепла в окружающую среду с циркуляционной водой из конденсатора. Кроме того, уменьшается величина выходных потерь из последней ступени турбины. В расчете на блок 800 МВт с турбиной К-800–240 был определён эффект от установки турбодетандера, который составил 8,8 МВт дополнительной мощности, что позволяет значительно снизить удельный расход топлива на выработку кВт×ч электроэнергии.

А.Д. Козырев, магистрант; рук. Е.Т. Ильин, к.т.н., доц., (НИУ «МЭИ»)

ПУСК ТУРБИНЫ ТИПА ПТ ПАРОМ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ОТБОРА

Производство электроэнергии имеет неравномерный характер. В процессе эксплуатации электростанции нередко для соблюдения баланса производства и потребления электроэнергии часть генерирующего оборудования переводится в резерв.

На станциях с поперечными связями пуск турбины из резерва как правило осуществляется острым паром от общестанционной магистрали. Данная технология пуска имеет ряд проблем. Из-за высокой разницы температуры пара и металла, на этапе прогрева турбины и набора оборотов (особенно при пусках из холодного и неостывшего состояния) пар подается в небольшом количестве, для предотвращения возникновения недопустимой разницы температур в элементах турбины. Это приводит к затягиванию этапа набора оборотов до одного часа и более и увеличению продолжительности набора нагрузки. Такие пуски снижают надежность и долговечность турбины и приводят к значительным потерям топлива.

Для уменьшения влияния перечисленных проблем, предлагается первоначальные этапы пуска турбины, а именно, толчок турбины, набор оборотов и синхронизацию производить паром промышленного отбора, который имеет более низкие параметры, что позволяет решить ряд проблем, присущих типовой технологии. В этом случае пар первоначально подводится на выхлоп ЦВД. Основной поток пара направляется в ЦНД. За счет работы пара в ЦНД производится разворот, набор оборотов, синхронизация и возможна даже взятие первоначальной нагрузки. В этом случае прогрев ЦВД производится за счет небольшого количества пара, движущемся противотоком. Снижение параметров пара, позволяет снизить разницу температур между металлом и паром и увеличить его расход, с одновременным повышением скорости прогрева

Ниже приводится расчетный график изменения продолжительности этапов набора оборотов и выхода на номинальную нагрузку при пусках из холодного состояния по типовой технологии и по предлагаемой.

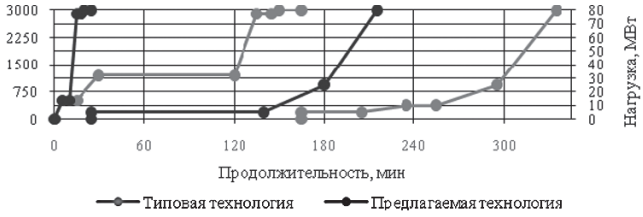


Рис. 1. Графики пуска турбины ПТ-80/100–130/13 ЛМЗ из холодного состояния по типовой и предлагаемой технологиях

Литература

1. **Балабанович В.К.** Совершенствование схем и режимов работы теплофикационных турбин. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Минск, 2000. — 38 с.

А.В. Светушков, асп.; рук. Е.Т. Ильин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМ ДЕАРАЦИИ ПОДПИТКИ ТЕПЛОСЕТИ ТЭЦ

В настоящее время деаэрация подпиточной воды тепловой сети на ТЭЦ осуществляется в основном с использованием вакуумных или атмосферных деаэраторов [1,2]. Для схем с вакуумными деаэраторами сырая вода предварительно подогревается во встроенных пучках конденсаторов турбин и затем догревается в подогревателях сырой воды. Далее нагретая сырая вода до 30–40°С поступает на химочистку, откуда, предварительно подогретая в подогревателе подпиточной воды (ППВ) до 50–60°С, поступает в вакуумные деаэраторы. После деаэраторов происходит ввод подпитки в обратную магистраль сетевой воды. Греющей средой на ПСВ и ППВ, как правило, используется пар давлением 0,12МПа, или пар из общестанционной магистрали. В качестве греющей среды для вакуумных деаэраторов используется прямая сетевая вода.

Для схем с атмосферными деаэраторами схема подготовки подпитки осуществляется по тому же циклу, что и с вакуумными деаэраторами. Различие заключается в греющем теплоносителе для атмосферного деаэратора, которым является пар 0,12МПа или пар из общестанционной магистрали с параметрами 0,8–1,3МПа. Подпиточная вода с температурой 104°С, направляется в обратную магистраль теплосети.

Недостатком таких схем, является подача подпиточной воды в линию обратной сетевой воды. Это приводит к повышению температуры обратной сетевой воды на входе в сетевые подогреватели и снижению экономичности работы теплофикационных турбин имеющих двухступенчатую систему подогрева сетевой воды.

Для оптимизации работы ТЭЦ предлагается направлять подпиточную воду после деаэратора первоначально в ППВ, заменив при этом пароводяной теплообменник на водоводяной. В этом случае деаэрированная подпиточная вода охлаждается до 40°С и не снижает экономичности, а кроме этого для подогрева в ППВ не используется высокопотенциальный пар, что тоже снижает экономичность.

Литература

1. **Соколов В.Я.** Теплофикация и тепловые сети. М.: Изд. МЭИ, 1999. — 472 с.
2. Тепловые электрические станции. В.Д. Буров и др. — М.: изд. МЭИ, 2009. — 456с.

А.Р. Лушникова, студ.;
рук. М.М. Султанов, к.т.н., доц. (филиал МЭИ в г. Волжском)

АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕХОДНЫХ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Гидравлическая взаимосвязь отдельных элементов системы при зависимом подключении отопительных систем и открытого водоразбора с течением времени неизбежно приводит к разрегулировке гидравлического и теплового режима работы системы. Это происходит из-за изменений в системе расхода воды и связанного с ним изменения давления в процессе эксплуатации, что вызывается неравномерностью водопотребления на горячее водоснабжение, наличием местного количественного регулирования разнородной нагрузки и различными переключениями в сети. В конечном итоге это оказывает отрицательное влияние на качество и стабильность теплоснабжения и снижает эффективность работы теплоисточников, а для потребителей тепла снижается комфортность жилья при одновременном повышении затрат.

Анализ методов гидравлических расчетов тепловых сетей был проведен на основании исследования возможных теплопотерь в системах центрального теплоснабжения, связанных с переходом на закрытую систему теплоснабжения с внедрением автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов. Для обеспечения потребителей теплоносителем требуемых параметров система автоматического регулирования должна быть установлена на числе потребителей, тепловая нагрузка которых не превышает 75% от суммарной. Чтобы обеспечить требуемый перепад давления в каждой точке тепловой сети и в точке подключения ЦТП к магистральным сетям, для сохранения стабильности гидравлического режима СЦТ города.

Для обеспечения надежности работы СЦТ и эффективности теплоснабжения потребителей с сокращением аварийных ситуаций создана компьютерная модель типичного жилого микрорайона города Волжский, дающая возможность воспроизведения гидравлических и температурных режимов работы, рассматривающие теплосети, как единые системы. Так же проанализированы значения расхода теплоносителя и тепловой нагрузки по фактическим показателям приборов учета и результатам моделирования, в результате которых определено улучшение энергетических показателей работы системы теплоснабжения при внедрении АИТП на 10%.

Литература

1. **Е.Я. Соколов** Теплофикация и тепловые сети. М.:МЭИ, 2001

Секция 47.
КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Председатель секции — Мезин Сергей Витальевич
Секретарь секции — Фарафонов Георгий Викторович

Н.М. Александров, асп.; рук-ль А.Ю. Хренников (САМГТУ, Самара)

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ДЛЯ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Задача цифровизации энергетики сейчас необычайно актуальна. Несмотря на прилагаемые усилия специалистов [1], еще нет общепринятой формулировки этого понятия, позволяющего спланировать действия по цифровизации, оценить предполагаемый эффект этих действий. Очевидно, что цифровизация в современных условиях тесно связана с развитием интернета вещей [2], но требуемый характер этой связи также не полностью ясен.

Сформулируем некоторые общие принципы цифровизации для задач управления электросетями:

1. Цифровизация не должна сводиться к простому преобразованию всех технологических параметров в цифровую форму. Преобразование должно порождать концептуально новые задачи.

2. Следует стремиться к максимальному «оживлению» (телемеханизации) единиц оборудования, которые должны выступать как элементы интернета вещей.

3. Передача данных в цифровых системах должна быть организована на двух уровнях: — подробный уровень (относительно редкая передача); — экспресс уровень (частая передача) [3].

4. Выделение событий из процессов — результат интеллектуальной обработки.

Таким образом, раскрывается смысл выражения «интеллектуальная связь» элементов цифровых систем.

В статье рассмотрен процесс выделения и интеллектуальной обработки событий, приведен алгоритм и пример диагностики измерительных каналов интеллектуальных РЗА на основе избыточных измерений, а также поиск повреждений в разветвленных электрических сетях.

Литература

1. **Воротницкий В.Э., Моржин Ю.И.** Цифровая трансформация энергетики России — системная задача четвертой промышленной революции. Энергия единой сети №6, 2018
2. **Сэмюэл Грингард** Интернет вещей: Будущее уже здесь Massachusetts Institute of Technology, 2015
3. **Комраков А.В., Сухоруков А.И**. Концепция цифрового двойника в управлении жизненным циклом промышленных объектов. Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова. Экономические науки, Москва, 2017,№3, с. 3–9

Е.С. Лякишева, М.С. Михайлова, студ.;
Г.А. Пикина, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДА СТАТИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ АЛГОРИТМА МАКСИМАЛЬНОГО БЫСТРОДЕЙСТВИЯ

Наиболее перспективным алгоритмом управления на сегодняшний день считается алгоритм максимального быстродействия. Решение задачи синтеза максимального быстродействующей системы управления выполнено применительно к АСР уровня в пространстве состояний. Для исследуемого объекта алгоритм максимального быстродействия выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \sigma = X_1 - T \cdot ln\left[1 + \frac{X_2}{T \cdot U \cdot \mathrm{sign}\,(X_2)}\right] \cdot U \cdot \mathrm{sign}(X_2) \\ u^*(t) = -U \cdot \mathrm{sign}(\sigma) \\ u^*(t) = 0, \text{если } |X_1| \le \varepsilon_1, |X_2| \le \varepsilon_2 \end{cases}, \qquad (1)$$

где T — постоянная времени объекта; U — амплитуда управления; $X_1 = (x_1 - x_{1зад})$; $X_2 = (x_2 - x_{2зад})$ — переменные, определяющие разность текущего и заданного значений.

Помимо обеспечения устойчивости работы АСР и получения приемлемого качества переходных процессов, что свойственно для динамической настройки, так же необходимо предусматривать точность поддержания заданного значения регулируемой величины в установившемся режиме, что является целью статической настройки. Показано, что в рассмотренной системе возможны автоколебания. Для их исключения разработан метод статической настройки, согласующий шаг дискретности и размеры двухмерной зоны нечувствительности. Поставлена и решена задача определения заданных значений переменных состояния, представляющих математическую абстракцию $x_{1зад}$ и $x_{2зад}$.

Литература

1. **Аракелян Э.К., Пикина Г.А.** Оптимизация и оптимальное управление, М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. **Пикина Г.А., Кочаровский Д.Н.** Исследование системы с прогностическим алгоритмом максимального быстродействия // Теплоэнергетика, №10, 2006.

М.В. Коротченков, студ.; рук. С.В. Мезин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ РАБОТЫ ТЭЦ И ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЧИН ОТКАЗОВ

Одними из опаснейших производственных объектов являются тепловые станции, аварийные ситуации на которых приносят большие убытки, энергетические потери, такие ситуации опасны для как для персонала, работающего на станции, так и для людей, живущих в районе расположения ТЭС. Необходимость диагностики объектов и сооружений, применяемых на ТЭС подтверждается в [1]. Современным решением для оптимизации и прогнозирования технических процессов является создание интеллектуальной системы управления и прогнозирования. Подобные системы помогут предотвратить аварийные и нештатные ситуации на ТЭС, увеличат экономическую выгоду благодаря сокращению внеплановых простоев предприятий [2].

Данная проблема актуальна как в России, так и за ее границами. Создание такой системы за рубежом позволило:

1) Избежать 90% внеплановых остановов оборудования, а, значит, и потерь выработки энергии.

2) Снизить удельный расход условного топлива за счет оптимизации режимов работы оборудования

3) Снизить стоимость обслуживания оборудования [3].

В России данное направление развивается, например, в городе Химки разработали комплекс для диагностики энергетических объектов [3].

В рамках данной работы планируется рассчитать тепловую схему ТЭЦ МЭИ, получив теоретические показатели работы энергоблока, сравнить их с реальными. На основе реальных данных со станции необходимо создать модель, которая будет отражать корреляцию параметров энергоблока и предсказывать выходные параметры при изменении нагрузки, расхода пара и других входных параметров. На основе данной модели планируется создать диагностический модуль (с элементами искусственного интеллекта), который будет предсказывать будущее состояние оборудования с целью предотвращения появления аварийных и опасных ситуаций.

Список литературы

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Текст]: Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ // 2019. — С. 28
2. Тепловые электрические станции. Методики оценки технического состояния основного оборудования [Текст]: нормативно-технический материал. — Москва. — 2007. 2–3 с.
3. **М.В. Липатов** Первый в России комплекс предиктивной аналитики для энергетического и промышленного оборудования [Текст] / М.В. Липатов // Экспозиция Нефть Газ. — 2016. — №3. — С. 82.

А.Н. Буканёв, студ.; рук. И.А. Щербатов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРИОРИТЕТА РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОДУКЦИОННОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ

Одним из наиболее важных факторов в процессе бесперебойной работы энергетического оборудования является его техническое состояние. Оперативное и качественное обслуживание основного технологического оборудования напрямую зависит от правильности выбранного метода оценивания его приоритета на ремонт. Эффективное управление ремонтами требует принятия качественных решений при проведении ремонтного воздействия, направленных на поддержание оборудования в работоспособности состоянии, при одновременной минимизации затрат. Задача состоит в том, чтобы разработать экспертную систему, которая реализована в виде системы нечеткого логического вывода и позволяла бы определять состояние энергетического оборудования на основе отклонений измеренных параметров от требований нормативной и технической и конструкторской документации, и вероятности отказа оборудования [1]. С учетом сделанных уточнений, рассмотренная субъективная информация о состоянии оборудования может быть представлена в форме правил нечетких продукций. В качестве входных параметров системы нечеткого вывода будем рассматривать 2 нечеткие лингвистические переменные: «отклонение параметров» и «вероятность отказа», а в качестве выходных параметров — нечеткую лингвистическую переменную «техническое состояние» [2]. Практическое значение статьи заключается в том, что предложенная в ней методика позволяет оптимально построить процесс обслуживания и ремонта оборудования для систем энергообеспечения.

Литература

1. Приказ Министерства энергетики РФ от 26 июля 2017 г. №676 «Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей»
2. **Штовба С.Д.** Проектирование нечетких систем средствами MATLAB.: Телеком, 2007.

Е.А. Таранец, студ.;
рук. И.А. Щербатов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КИБЕР-ФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ

В работе сформулированы ключевые понятия Индустрии 4.0 и кибер-физических систем. Основной задачей Индустрии 4.0 является внедрение кибер-физических систем в процессы производства [1]. Актуальность рассматриваемой проблемы заключается в том, что кибер-физические системы способны соединять в себе физические процессы, для реализации которых необходим контроль в онлайн-режиме, и вычислительные процессы [2]. Эти системы соединяют в себе цифровые и физические процессы и, следовательно, затрагивают различные аспекты жизнедеятельности. И именно поэтому такие системы могут применяться в энергетике. С помощью кибер-физических систем отслеживаются неполадки в оборудовании, а также повышается эффективность процесса производства [3]. Показано, что использование кибер-физических систем на предприятии способствует развитию цифровой энергетики. Выделены ключевые тенденции текущего состояния цифровой энергетики в России и мире. На данный момент предприятия уделяют особое внимание цифровизации процессов производства. Основной перспективой дальнейшего использования кибер-физических систем является дистанционное управление производством и управление качеством электроэнергии. Внедрение кибер-физических систем позволит сокращать или даже предотвращать аварийные ситуации [4]. В качестве дальнейшего направления исследования выбрано создание кибер-физической модели реально работающего оборудования на станции.

Литература

1. **Тарасов И.А.** Индустрия 4.0: понятие, концепции, тенденции развития // Стратегии бизнеса, 2018.
2. **Куприяновский В.П., Намиот Д.Е., Синягов С.А.** Кибер-физические системы как основа цифровой экономики // International journal of open information technologies, 2016
3. **Ахметшин Э.Р.** Цифровые технологии в энергетике // Проблемы науки, 2019
4. **Мозохин А. Е, Шведенко В.Н.** Анализ направлений развития цифровизации отечественных и зарубежных энергетических систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2019. Т. 19.№4. С. 657–672.

Г.Н. Цуриков, студент; рук. И.А. Щербатов к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМЫ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В настоящее время Министерством Энергетики Российской Федерации взято направление на глобальную цифровизацию всех отраслей топливно-энергетического комплекса, что способствует увеличению количества информационных систем. Одной из таких систем является система предиктивной аналитики для объектов тепловой энергетики, концепция и алгоритмы которой были разработаны и представлены авторами [1]. Информационная безопасность системы предиктивной аналитики является одной из ключевых проблем ее внедрения на реальном объекте. Так как для обеспечения безопасности данной системы требуется увеличение ресурсов на выявление потенциальных угроз и разработку средств защиты информации со стороны заказчика.

В связи с данной проблемой, авторами была разработана модель угроз для системы предиктивной аналитики. В таблице 1 приведено описание одной из наиболее актуальных угроз для данной системы.

Табл. 1. Описание угроз системы предиктивной аналитики

Угроза утечки и искажения данных об отказах энергетического оборудования тепловой электрической станции	
Описание угроз	Последствия
Преодоление злоумышленником процедуры авторизации или подмена доверенного объекта сети [2]	Нарушение конфиденциальности данных станции, нарушение целостности данных

Также авторами предложено решение по обеспечению безопасности от представленных угроз, основанное на применении искусственных нейронных сетей (ИНС). Принцип решения заключается в обучении нейронной сети поведению каждого сотрудника, взаимодействующего с системой предиктивной аналитики, т.е. для ИНС необходимо предоставить IP-адрес, с которого происходит взаимодействие; URL и SQL запросы, которые производит сотрудник; область базы данных, с которой он работает. На основе данной информации ИНС позволит оперативно определить аномальное количество ошибок авторизации или количество запросов, несвойственных оператору и классифицировать данную подозрительную активность как вредоносное вмешательство.

Литература

1. **Arakelian E., Pashchenko A., Shcherbatov I., Tsurikov G., Titov F.** Creation of Predictive Analytics System for Power Energy Objects. 11th International Conference Management of Large-Scale System Development. MLSD 2019. 5 p.
2. **ФСТЭК России.** Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах. М.: ФСТЭК России, 2008.

Н.В. Устюгов, асп.; рук. О.М. Проталинский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТАРИФНОГО УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Постановка задачи: найти тарифный уровень напряжения на основе прогноза электропотребления предприятия (свыше 670 кВт), позволяющий уменьшить стоимости электроэнергии. Под тарифным уровнем напряже- ния понимается тариф в расчетах гарантирующего поставщика за услуги по передаче электрической энергии потребителю (рис. 1).

Уровень напряжения для оп- латы услуг по передаче электри- ческой энергии определяется по границе балансовой принадлеж- ности (границе участка) [1]. Чем выше уровень напряжения, тем

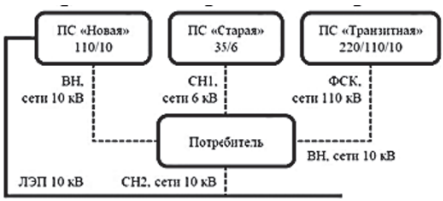


Рис. 1. Варианты подлючения потребителя к тарифным уровням напряжения ниже тариф на услуги по передаче электроэнергии (таб. 1).

Табл. 1. Пример стоимости услуг по передаче электроэнергии

Уровень напряжения	Услуги по передаче, руб/МВтч	Конечный тариф, руб/МВтч
ВН (110 и выше)	1210	3647
СН1 (35 кВ)	3010	5440
СН2 (от 1 до 20 кВ)	3022	5659
НН (0,4 кВ)	4420	6852

Для выполнения прогноза на будующий год необходимы минимальные исходные данные — электропотребление за предыдущий календарный год. Выбираем тариф применяя математическую модель прогноза (1):

$$C_{ээ} = Ц_{j,m,n}^{пунцэм} * V_m^{факт} \qquad (1)$$

где: $C_{ээ}$ — стоимость электроэнергии для первой ценовой категории, руб.; $Ц_{j,m,n}^{пунцэм}$ уровень цен на j-м уровне напряжения, руб./МВт·ч; $V_m^{факт}$ планируемый объем потребления электрической энергии в расчетный период. Проведен эксперимент на объекте — тоннель автодорожный Лефортово, выполнен прогноз электропотребления для всех уровней напряжения, выбран выгодный и реализуемый тариф, произведено технологическое присоединение, получено сокращение расходов на электроэнергию — 4,3%.

Литература

1. Российская энергетика [электрон. ресурс] https://minenergo.gov.ru/ (дата обращения 01.12.19).

А.А. Шилов, асп.; рук. А.Н. Черняев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ В БАРАБАНЕ КОТЛА ТРЕХИМПУЛЬСНОЙ СИСТЕМОЙ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ КОМПЕНСАТОРОВ В СРЕДЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ SIMINTECH

Автоматическая система регулирования (АСР) уровня в барабане котла является одной из самых ответственных систем регулирования на электростанции. Обычно в АСР питания используют трехимпульсную схему [1], в которой реализован принцип комбинированного регулирования:

- по возмущению — при изменении расхода пара;
- по отклонению — при изменении уровня воды в барабане котла или расхода питательной воды.

При регулировании по возмущению в АСР используется специальное устройство, называемое компенсатором. В работе рассмотрено влияние различных видов компенсаторов на качество работы АСР, выполненной в среде динамического моделирования SimInTech.

В первом варианте компенсатор отсутствует. Во втором варианте применяется компенсатор, представляющий из себя П-звено, что соответствует обычной трехимпульсной схеме [1]. В третьем варианте рассмотрено применение комплексного компенсатора, представляющего из себя РД-звено со смещением комплексной частотной характеристики (КЧХ). Параметры РД-компенсатора выбраны, как максимально близкие к КЧХ идеального компенсатора, полученного из условия абсолютной инвариантности АСР.

Анализ указанных вариантов компенсаторов показал, что при одинаковом времени компенсации РД-компенсатор позволяет уменьшить колебательность АСР, но П-компенсатор имеет меньшее динамическое отклонение. Однако решение по выбору между обычным и комплексным компенсатором следует принимать в процессе наладки реальной системы с учетом влияния различных нелинейностей технических средств автоматизации и условий эксплуатации.

Литература

1. **Плетнев Г.П**. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электростанций. Энергоатомиздат 1986 г.

А.С. Демкин, А.А. Съедугин, студенты;
рук. В.И. Котенев, д.т.н., проф. (СамГТУ, Самара)

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ НЕСТАБИЛЬНОМ НАПРЯЖЕНИИ В СЕТИ

Разработка более совершенных систем автоматического управления (САУ) реактивной мощностью синхронных двигателей относится к актуальным проблемам, так как с помощью этих систем появляется возможность управлять величиной коэффициента реактивной мощности в точке подключения системы электроснабжения предприятия к электрической системе и тем самым понизить потери электрической энергии при её транспортировке, а также уменьшить величину тарифных коэффициентов за потребленную электрическую энергию.

Существующие альтернативные системы управления построены без учёта влияния основных элементов системы электроснабжения (линии электропередачи, силовых трансформаторов, асинхронных и синхронных электродвигателей, статических компенсирующих устройств) на процесс регулирования при отклонениях напряжения в сети, что неблагоприятно отражается на качественных характеристиках системы.

В данной работе рассматриваются САУ с учетом этих недостатков. Структурная схема синхронного двигателя, как объекта управления реактивной мощностью, построена на базе дифференциальных уравнений электромагнитных и электромеханических процессов этого двигателя, а оставшиеся элементы системы электроснабжения учтены в схеме соответствующими алгебраическими уравнениями, в которых напряжения и токи представлены своими действующими значениями [1].

Рассмотрены два варианта САУ: одноконтурная система с отрицательной обратной связью (ООС) по реактивной мощности двигателя и двухконтурная система с ООС по реактивной мощности и с внутренней ООС по току возбуждения. В обоих вариантах предусмотрена компенсирующая связь по активной и реактивной мощности асинхронных двигателей, что позволило значительно уменьшить погрешность регулирования не только реактивной мощности асинхронного двигателя, но и величины коэффициента реактивной мощности по сравнению с остальными схемами управления без компенсирующей связи.

Литература

1. **Kotenev V.I., Kotenev A.V., Kochetkov V.V., Elkin D.A.** Electrical engineering unit for the reactive power control of the load bus at the voltage instability // Journal of Physics: Conference series, Vol. 944, conf. 1, doi:10.1088/1742–6596/944/1/12064, 2018.

Н.В. Устюгов, асп.; рук. О.М. Проталинский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОФИЛЯ МОЩНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ

Предметная область исследования актуальна, учитывая системно повышающуюся стоимость электрической энергии для предприятий, единовременно потребляемая мощность которых свыше 670кВт [1].

Постановка задачи: спланировать выгодный режим работы электрооборудования и оптимизировать энергопотребление на основе прогнозирования профиля мощности. Для разработки среднесрочного прогноза, от 1-го года до 5-ти лет, за основу берется архивное электропотребление за все время работы или минимум за один предыдущий календарный год. Единицей учета в прогнозе является профиль мощности оборудования, показывающий какое количество электроэнергии — кВт, потребило электрооборудование в час. Построена модель прогноза профиля мощности [1], где:

$$C_{ээ} = \left[\sum_{1}^{T} \left(Ц_{j,m,n,h}^{пунцэм,э} * V_{h}^{факт} \right) + Ц_{m,n}^{пунцэм,м} * N_{m}^{опфрэ} \right] \qquad (1)$$

$C_{ээ}$ — стоимость электроэнергии, руб.; $Ц_{j,m,n,h}^{пунцэм,э}$ ставка за электрическую энергию, руб./МВт·ч; $V_{h}^{факт}$ — планируемый объем потребляемой электроэнергии в час (h) расчетного периода; $Ц_{m,n}^{пунцэм,м}$ — ставка за мощность, руб./МВт; $N_{m}^{опфрэ}$ — величина мощности, планируемая к оплате потребителем за расчетный период, определяемая как среднее арифметическое значение почасовых объемов потребления электрической энергии из установленных системным оператором плановых часов пиковой нагрузки в рабочие дни расчетного периода. Потребитель достигает оптимизации благодаря отключению оборудования или уменьшению электропотребления в плановые часы пиковой нагрузки (данная информация опубликовывается в конце расчетного периода) установленные системным оператором [2].

Результат исследования: выполнено прогнозирование профиля мощности оборудования на объекте, в подсистеме и системе (в качестве прототипа выступает ГБУ «Гормост»). На объекте — тоннель автодорожный Гагаринский проведён эксперимент в результате статья расходов «оплата потребленной электрической энергии» за 2018 год уменьшилась на 3,8%.

Литература

1. Передача электрической энергии [электрон. ресурс] https://www.fsk- ees.ru/ (дата обращения 05.12.19).
2. Часы пиковой нагрузки [электрон. ресурс] http://www.atsenergo.ru/ (дата обращения 05.12.19).

К.В. Евсеев, аспирант; рук. Э.К. Аракелян, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АСУ ТП

Проектирование большинства современных автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП) выполняется по шаблону и ограничивается переложением одних и тех же функций на новые программные решения и технические средства, оставляя функциональные возможности на прежнем уровне, в основном решая задачи контроля параметров и локального управления отдельных механизмов производства [1].

Интеллектуальная АСУ ТП представляет многоуровневую структуру управления технологическими процессами — распределённую АСУ ТП, включающую три уровня управления: агрегатный, блочный, станционный [2]. Расширение функциональных возможностей ПТК для управления блочным и станционным уровнями, позволит решить описанную выше проблему.

Для функционирования интеллектуальной АСУ ТП необходимо оперировать данным единого информационного поля, одновременно обеспечивая функциональное распределение между её уровнями. Предлагается рассматривать каждый уровень в качестве среза, скрывающего (инкапсулирующего) определённые данные, обеспечивающие логику процесса на этом уровне.

Одной из задач, решаемых интеллектуальной АСУ ТП, является предоставление оператору необходимой информации, в особенности касающейся (станционного) уровня, на котором решаются задачи распределения мощности, расчёта технико-экономических показателей (ТЭП) и др., автоматизируя эти процессы и давая рекомендации, выступая практически экспертной системой.

Литература

1. **Аракелян Э.К.** Проблемы современных автоматизированных систем управления технологическим процессом на базе программно-технических комплексов и возможный путь их решения / Аракелян Э.К., Васильев Е.Д., Хуршудян С.Р. // Вестник Московского энергетического института, 2014. С. — 15–20.
2. **Тверской Ю.С.** Теория и технология систем управления. Многофункциональные АСУ ТП тепловых электростанций. В 3-х кн. Кн. 1. Проблемы и задачи / Ю.С. Тверской. — Иваново, 2013. — 256 с.

О.К. Кохова, А.С. Помогаев, студенты;
рук. Ю.Ю. Ягупова, ассистент. (НИУ «МЭИ “)

ОЦЕНКА СМЕШАННОГО ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

В докладе рассматривается метод смешенного целочисленного линейного программирования (MILP) и оценивается важность этого метода.

Подход к функциональности смешанного целочисленного линейного программирования (MILP) разработан для проектирования многомерных и нелинейных систем.

В основе этого метода лежит задача математической оптимизации или выполнимости, в которой некоторые переменные предполагаются целочисленными, а остальные могут принимать произвольные (не целые) значения.

Простейший метод решения этой задачи — сведение ее к задаче линейного программирования с проверкой результата на целочисленность, которая решается с использованием алгоритма ветвления и ограничения на основе линейного программирования.

В настоящее время MILP достаточно распространен и применяется в разнородных областях: производственное планирование, планирование, сети передачи данных, сотовые сети, в промышленных процессах.

Проведя ряд исследований над методом MILP отметим, что использование данного метода значительно расширяет круг полезных задач оптимизации, которые мы можем определить и решить. А также предложенный подход представляет собой сокращение времени вычислений более чем на 3 порядка по сравнению с ранее введенными подходами на основе нелинейного программирования. Эти результаты указывают на то, что предложенный метод еще и эффективен в вычислительном отношении. В дополнении к этому, MILP предназначен для выбора наилучшего варианта из возможных для достижения наибольшей эффективности какого-либо процесса.

Литература

1. **В.Н. Бельков, В.Л. Ланшаков.** Автоматизированное проектирование технических систем /Москва,2009.
2. **Аракелян Э.К., Андрюшин А.В., Неклюдов А.В., Ягупова Ю.Ю.** Формирование подхода решения задачи выбора состава включенного генерирующего оборудования (ВСВГО).

М.А. Дмитриева студ.;рук. И.А. Щербатов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

В энергетике существует большое число процессов, которые характеризуются различными видами неопределенности. Это означает, что для решения прикладных задач, необходимо применять подходы, которые предоставляют исследователю эффективный инструментарий для построения полных и непротиворечивых моделей рассматриваемого процесса. Успешное решение ряда задач в энергетике обусловлено наличием технической диагностики, характеризующей актуальное техническое состояние оборудования.

В работе описана структурная схема системы поддержки принятия решений для повышения эффективности реализации мероприятий по управлению техническим состоянием оборудования энергетики, обеспечивающая своевременность проведения мероприятий по техническому обслуживанию и ремонтам. Для решения задачи построения онтологии использован метод структурирования информации о процессах технического обслуживания и ремонта оборудования энергетического предприятия [1]. Реализованная и описанная в работе онтологическая модель представляет собой совокупность иерархических конфаймент-моделей процессов, участвующих в поддержании надлежащего технического состояния.

Конфайнмент-моделирование помогает исключить эксперту второстепенные факторы и сосредоточиться на тех, которые действительно оказывают влияние на управление производственными объектами. Данный подход позволяет выявить неочевидные влияющие факторы и ключевые моменты взаимосвязи оборудования до того, как это станет очевидным на практике.

В работе описаны все этапы создания онтологической модели с использованием прикладного программного продукта Protege.

Литература

1. **Проталинский О.М., Ханова А.А., Щербатов И.А., Проталинский И.О., Кладов О.Н., Уразалиев Н.С., Степанов П.В.** Онтология процесса управления ремонтами в электросетевой компании//Вестник МЭИ. 2018. №6. С. 110–119

В.А. Агибалов студ.; М.К. Белов студ.;
рук. И.А. Щербатов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭЦ

В соответствии с энергетической стратегией России на период до 2030 года [1] необходимо обеспечить эффективное функционирование энергетического сектора страны. В этой связи выделяется ряд актуальных задач, одной из которых является разработка современных отечественных программных продуктов, сред инженерных расчетов и моделирования, которые обеспечат проведения поверочных расчетов различных категорий оборудования ТЭЦ.

Целью работы является повышение эффективности эксплуатации оборудования ТЭЦ за счет применения результатов сравнения параметров рабочей среды в трубопроводах и агрегатах на станции с выходными данными реализованной цифровой модели оборудования при его управлении. Необходимость таких расчетов возникает на стадиях проектирования, эксплуатации, а также реконструкции оборудования.

Программа описывает реальный процесс, происходящий в функционирующем оборудовании в идеальном техническом состоянии. Выходные данные — термодинамические параметры рабочей среды станции, реализуются в программе с использованием методов расчета типовых элементов тепловых схем станции. Их основное содержание заключается в сведении материальных и энергетических балансов как для установки в целом, так и для составляющих ее элементов.

На основе сравнения результатов модели и реальных параметров оборудования, можно судить о техническом состоянии работающих агрегатов ТЭЦ.

Программное обеспечение реализовано на языке программирования Python 3.

Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. №1715-р.
2. **Swaroop Chitlur** A Byte of Python/ перевод — В. Смоляр, 2013. 159 с.
3. **М. Лутц.** Изучаем Python, 4-е изд. М.: Символ-Плюс,2010. 1280 с.

А.С. Помогаев, О.К. Кохова, студенты;
рук. Н.С. Долбикова, старший преподаватель (НИУ «МЭИ»)

ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ ПЕРЕГРЕВОВ КИПиА ТЭС/АЭС

Современный мир невозможно представить без электроэнергии, и ежедневно появляется всё больше и больше её потребителей. Это создаёт высокие требования к устойчивости выработки и передачи электроэнергии. Возникновение аварийных ситуаций на тепловых и атомных электростанциях, которые могли бы сказаться на количестве отпускаемой мощности, должно быть сведено к минимуму. Причиной для данного неблагоприятного события может послужить множество различных факторов. В данной работе мы рассмотрим один из них — отказ работы датчиков из-за нарушения режима их эксплуатации.

В настоящее время в эксплуатации находится большое количество электростанций давних годов постройки, выполненных по устаревшим стандартам. В период 60-70х годов главной целью было увеличение электрической мощности энергосистемы страны в кратчайшие сроки. Цели добились, но это сказалось на условиях работы оборудования, а именно, датчиков. В данный момент их эксплуатация производится в условиях повышенных температур, поскольку они располагаются в непосредственной близости к боксам, в которых либо оборудование работает с теплоносителем высоких параметров, либо происходит транспортировка этого теплоносителя. А как известно, любой датчик имеет свой рабочий диапазон температур и влажности окружающей среды, и случай отказа работы датчиков может послужить причиной останова какого-либо элемента схемы станции, либо блока в целом, что недопустимо в нынешних реалиях.

В данной работе, как способ решения проблемы, я предлагаю реконструировать нынешние технические помещения, оснастив их тепловой изоляцией достаточной толщины и вентиляцией. Данные мероприятия нацелены на поддержание температуры и влажности в пределах рабочего диапазона для датчиков.

Литература

1. **Г.М. Иванова, Н.Д. Кузнецов, В.С. Чистяков.** Теплотехнические измерения и приборы.
2. **Цепа А.П.** Интеллектуальные датчики физических величин. Алгоритмы компенсации температурных погрешностей // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск. — 2008. — №2. — С. 184–189

Д.А. Дементьев, Е.Д. Максимова, аспиранты;
рук. В.Р. Сабанин, к.т.н., доц., рук. С.В. Мезин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕНОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОМЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ

Во многих встречающихся на практике случаях объект управления имеет не одну, а несколько управляемых величин и соответствующее число управляющих воздействий. С точки зрения проблемы построения САУ такими объектами существенное значение имеет структура связей внутри такого объекта между его управляющими воздействиями с одной стороны и управляемыми величинами с другой. Как известно, нейронные сети могут использоваться в качестве регуляторов [1, 2]. Так как ИНС имеют возможность задавать любое количество информационных входов и выходов прослеживается необходимость в исследовании ИНС в качестве многомерного регулятора.

В выбранном исследовании была выбрана структурная схема автоматической системы регулирования представленная на Рис. 1.

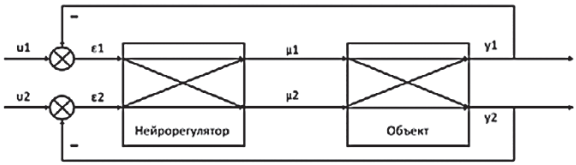


Рис. 1. Структурная схема многомерной АСР с нейрорегулятором.

В результате исследования были получены:

- Переходные процессы систем с различными объектами без технических средств автоматизации.
- Переходные процессы АСР с техническими средствами автоматизации.
- Были исследованы такие факторы, как шаг расчета алгоритма, инерционность объекта.

Литература

1. **Казьмирук И.Ю., Дементьев Д.А., Сабанин В.Р., Архипов А.Б., Кириенок Д.С**. Использование метода обратного распространения ошибки для параметрической адаптации шагового нейрорегулятора // Молодой ученый. — 2018. — №24. — С. 1–11.
2. **Казьмирук И.Ю., Сабанин В.Р., Дементьев Д.А.** Применение нейронных сетей в качестве регулятора в двухконтурных системах автоматического регулирования // Молодой ученый. — 2019. — №4. — С. 91–96

К.О. Мацко, А.Д. Моисеева, студенты; рук. Д. А Дементьев, аспирант, рук. Е.Д. Максимова, аспирант (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ SIMINTECH ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

В настоящий момент зависимость от импорта Российской Федерации имеет большое значение для обеспечения независимости страны в области энергетики. Импортозамещение становится крайне актуальной проблемой и достигается путем внедрения и использования различных отечественных прикладных программ и инструментария в условиях производства. Важным фактором успешного решения данной проблемы является подготовка высококвалифицированных специалистов, освоивших отечественные программные продукты. [1]

В данной работе в качестве отечественного программного обеспечения рассмотрена среда моделирования SimInTech и её использование в учебном процессе для подготовки бакалавров направления «Теплоэнергетика и теплотехника» в Национальном Исследовательском Университете «МЭИ» по дисциплине «Вычислительные машины, системы и сети». Данное программное обеспечение используется в качестве среды выполнения лабораторных работ и проведения практических занятий, предоставляя возможность синтеза и анализа различных рассматриваемых в учебном курсе цифровых электронных устройств, базирующихся на логических элементах.

Курс лабораторных работ способствует усвоению студентом теоретического материала, включающего комплексное представление об изучаемых на лекциях устройствах, принципах их функционирования, использование основ алгебры логики для проектирования и моделирования работы цифровых электронных устройств различного назначения.

Литература

1. **Ю.А. Лямин.** Проблемы импортозамещения в информационных системах//Экономика, статистика и информатика.— 2016 №4-С. 35–38

А.С. Назаренко; рук. И.А. Щербатов к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ЭКСПЕРТНОГО ОПРОСА ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Востребованность систем мониторинга и диагностики объектов энергетики в современных условиях определяется высокой степенью износа и плохого технического состояния оборудования. Поэтому эффективность используемых систем мониторинга и диагностики технического состояния является крайне важным аспектом при реализации стратегии технического обслуживания и ремонта.

При отсутствии достаточного объема статистических данных именно метод экспертного опроса [1] позволяет производить определение конкретных элементов, для которых требуется установить системы мониторинга и диагностики технического состояния.

При анализе процедуры опроса и согласовании мнений экспертов мы получаем значения показателей важности подсистем и можем выделить те элементы, которые в дальнейшем будут отнесены ключевым.

Данная методика носит итеративный характер, так как возможно возникновение ситуации, при которой потребуется проведения дополнительного опроса экспертов для согласования их мнений. Это необходимо производить в связи с тем, что на мнение эксперта накладываются его знания, опыт и эмоциональное состояние.

Проведенный таким образом анализ необходимый для определения ключевых элементов является основой для нахождения набора диагностических параметров, которые будут характеризовать техническое состояние элемента и обеспечивать прогнозирование его технического состояния на определенный временной интервал.

Именно экспертные системы дают возможность оценки технического состояния энергооборудования, таких как диагностика поломок и их устранение, а также мы можем предсказывать характер и вероятное время возникновения нарушений, что значительно снижает затраты. Непрерывный контроль и мониторинг, поддерживают безопасность энергетического объекта и персонала.

В работе приведен методический расчетный пример, показывающий решение задачи выбора на основе экспертных данных при отличающихся и одинаковых рангах.

Литература

1. **Анохин А.Н.** Методы экспертных оценок. Учебное пособие. — Обнинск: ИАТЭ, 1996. — 148 с.

К.А. Кобзева, студент, Е.Е. Сирик, студент, А.И. Фатькин, студент; рук. И.А. Щербатов к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ РЕМОНТАМИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

Современные объекты энергетики обладают свойством территориальной распределенности (например, электросетевые компании, обеспечивающие транспорт энергии потребителям). Это означает, что процессы организации технического обслуживания и ремонта сопряжены с определенными трудностями, которые обусловлены необходимостью организации эффективной логистической поддержки данных мероприятий для целей минимизации затрачиваемых ресурсов [1].

Рассматриваемые объекты обладают большим количеством взаимосвязей и необходимостью учета огромного количества факторов, включая неопределенности внешней среды, оказывающие влияние на качество мероприятий по приведению оборудования в надлежащее техническое состояние. Таким образом, следует исследовать данные объекты как сложные технические системы и применять для этих целей принципы и методы системного анализа.

Для исследования эффективности применения различных логистических схем разработана и реализована имитационная модель процесса управления ремонтами для объектов энергетики, которые рассредоточены и находятся на удалении друг от друга.

Кроме того, рассмотрены вопросы интеграции современных программных сред для решения поставленной задачи. В частности исследуются вопросы организации совместного использования программного обеспечения управления проектами и среды имитационного моделирования.

Разработаны концептуальные структурные схемы, иллюстрирующие процессы организации ремонтов территориально распределенных объектов энергетики и взаимодействия современных систем управления проектами и сред имитационного моделирования.

Новизна работы обусловлена тем, что при интеграции различных программных систем показан учет неопределенности, сопровождающий процессы ремонта. Дальнейшее направление исследования — уточнение построенных имитационных моделей.

Литература

1. **Уразалиев Н.С., Ханова А.А., Тумпуров В.С.** Концептуальная структура имитационной модели логистических процессов управления ремонтами предприятий электрических сетей // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. №2. С. 91–100.

А.А. Польшиков, студент, Г.В. Росляков, студент, В.Ю. Стрелков, студент; рук. И.А. Щербатов к.т.н., доц.(НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ПОДОГОРЕВАТЕЛЯ НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON

В настоящее время крайне актуальной является задача реализации цифровых моделей реального технологического оборудования, функционирующего на станциях. Процессы износа, функционирования в изменяющихся режимов, воздействия внешней среды приводят к необходимости своевременного синтеза управляющих воздействий на разных уровнях.

Современный подход, позволяющий эффективно решать прикладные задачи на станциях — реализация концепции построения цифровых моделей оборудования в рамках концепции новой промышленно революции Индустрии 4.0 [1].

В работе рассмотрены и описаны различные виды подогревателей, которые находят наибольшее применение на станциях (ТЭЦ и ТЭС.) На основании проведенного анализа выбран конкретный тип теплообменного оборудования, который реализован в виде цифровой модели. Цифровая модель создана с использованием современного языка программирования Python [2], используемого при решении различных прикладных задач.

В работе реализована математическая модель подогревателя, его представление в виде мнемосхемы. Программное обеспечение позволяет рассчитывать основные параметры с использование уравнений теплового и материального баланса.

С точки зрения архитектуры реализации программного комплекса разработанная цифровая модель является частью среды моделирования тепловых схем и проведения поверочных расчетов оборудования станций.

В рамках исследования разработана структурная схема программного обеспечения, реализующего цифровую модель. Синтезирован алгоритм функционирования цифровой модели и проведения расчетов.

Литература

1. **Peres R.S., Rocha A.D., Leitao P., Barata J.** IDARTS — Towards Intelligent Data Analysis and Real-Time Supervision for Industry 4.0 // Computers in Industry. 2018. P. 1–12.
2. **Лутц М**. Изучаем Python, 4-е изд. М.: Символ-Плюс,2010. 1280 с.

Сулименко Д. А, студент;
рук. Е.И. Мерзликина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ НА ПРИМЕРЕ ТЕСТОВ ПО ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Целью данной работы является автоматизация и цифровизация проверки знаний студентов для облегчения проведения контрольных мероприятий; для этого была разработана программа для автоматизированного проведения тестов по теории автоматического управления. Программа была написана на языке Python — это современный инструмент, представляющий собой язык программирования высокого уровня с открытым кодом, адаптированный для лёгкости его чтения. [3]

Python имеет несколько загружаемых модулей, которые позволяют использовать GUI (Graphic User Interface) на базе библиотек PyQT, MatPlotLib, Tkinter, NumPy [2]; а также дает возможность взаимодействия с Microsoft Word, Excel с помощью модулей docx и xlwt [1].

Для решения данной задачи была разработана программа, которая позволяет проводить интерактивные контрольные мероприятия с возможностью автоматической выгрузки отчёта в MS Word или MS Excel по выбору пользователя. Программа работает офф-лайн и может использоваться студентами, в том числе, для самоподготовки. Ниже представлен фрагмент интерфейса пользователя опроса по теме «Элементарные динамические звенья» (Рис. 1).

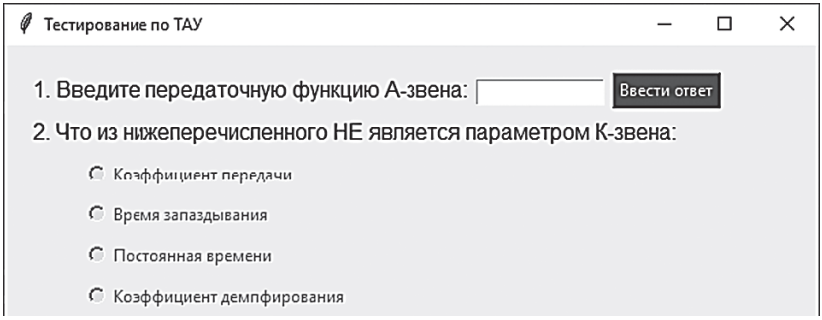


Рис 1. Пользовательский интерфейс.

Литература

1. https://www.severcart.ru/blog/all/python_import_modules/ Модули в Python.
2. https://www.severcart.ru/blog/all/python_import_modules/ Модули в Python.
3. **Федоров Д.Ю.,** Основы программирования на примере языка Python, 2018.

М.С. Пушкина, студент, М.А. Хромова, студент;
рук. И.А. Щербатов к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР СТРАТЕГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

При реализации мероприятий технического обслуживания и ремонта объектов и предприятий энергетики существует несколько стратегий: реактивная стратегия (ремонт после отказа), превентивная стратегия (система планово-предупредительного ремонта), предиктивная аналитика (ремонт по состоянию), проактивная стратегия (ремонт, ориентированный на надежность), стратегия, ориентированная на риски [1].

В результате обзора литературы и критического анализа существующих подходов в качестве наиболее подходящей (оптимальной) стратегии с точки зрения обеспечения заданных критериев, решения задач и реализации мероприятий по поддержанию надлежащего технического состояния оборудования [3] был обоснован выбор стратегии, ориентированной на риск [2]

К критериям относятся техническое состояние и надежность оборудования на агрегатном, блочном и станционном уровне., необходимость учета состояния и показателей надежности в процессе эксплуатации оборудования энергетики. Указанные показатели должны учитываться совместно с риском выхода оборудования из строя. Для этого необходимо получить значения вероятности отказа и последствий его возникновения (ущерба, который оценивается количественно).

В работе анализируются показатели состояния, надежности, риска и возможного ущерба с объектов энергетики как сложной технической системы.

Литература

1. **Sule Selcuk** Predictive maintenance, its implementation and latest trends. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture. 2016. Vol 231. №. 9.
2. **ГОСТ Р** 55234.3–2013 Практические аспекты менеджмента риска. Процедуры проверки и технического обслуживания оборудования на основе риска.
3. **Проталинский О.М., Щербатов И.А., Гурьянова В.В., Цуриков Г.Н.** Методика идентификации технического состояния оборудования электроэнергетики // Новое в российской электроэнергетике. 2018. №9. С. 54–61.

А.Н. Безматьева, студ.; В.В. Бойко, студ.; рук. А.А. Лапкис, ст. преподаватель; В.А. Уманцева, студ. (ВИТИ НИЯУ МИФИ, Волгодонск)

АНАЛИЗ ГАРМОНИК СПЕКТРОВ ВИБРОСИГНАЛОВ ОПЕРАЦИЙ ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ МАШИНЫ ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000 ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ВИБРОМОНИТОРИНГА

Во время перегрузки топлива энергоблока ВВЭР существует вероятность отказа механизмов машины перегрузочной (МП) с падением тепловыделяющей сборки (ТВС) или другого изделия в зоне бассейна перегрузки. Для повышения эксплуатационной надёжности МП была рассмотрена возможность введения системы контроля, основанной на вибромониторинге операций перегрузки ядерного топлива.

Такая система разрабатывается НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ. [1] Нами рассмотрена перегрузка топлива на первом блоке Ростовской АЭС во время планово-предупредительного ремонта (ППР) в 2018 г.

Был проведен спектральный анализ движений захвата кластера рабочей штанги машины перегрузки. [2] Наблюдение производилось на участках большой и малой скорости и соотносилось с перечнем возбуждающих частот (рис. 1)

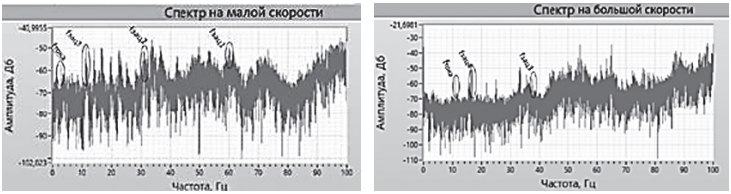


Рис. 1. Детерминированные частоты в спектре вибросигналов при движении ЗКЛ

Детерминированными частотами являлись частота питающей сети и частоты вращения и зацепления зубьев редуктора привода захвата кластера.

Гармоники спектров фактически зарегистрированных сигналов сопоставлены с детерминированными частотами возбуждения. Рост амплитуды на определенной частоте будет свидетельствовать об отклонении в определенной части редуктора. Это позволит заблаговременно выявлять дефекты и предотвращать поломку оборудования.

Литература

1. **А.А. Лапкис, В.Н. Никифоров, Л.А. Первушин.** Виброакустическая паспортизация режимов работы машин перегрузочных энергоблоков ВВЭР [Текст] // Глобальная ядерная безопасность. — 2018. — №2 (27). — С. 82–90.
2. **Барков А.В., Баркова Н.А.** Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации: Учебное пособие. СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2004, 152с.

Е.Н. Дронов, студ.; рук. В.М. Парчевский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА В ВИДЕ ФУНКЦИИ ТРЕХ ПЕРЕМЕННЫХ

Большинство паровых турбин АЭС предназначены для работы на насыщенном паре. Эффективность и надежность турбин зависит от влажности пара, которая должна составлять от 0 до 0,2% на выходе из парогенератора (ПГ). Для управления ПГ в маневренном режиме необходимо располагать двухмерной сепарационной характеристикой (ДСХ) горизонтального парогенератора ω (h, d), где ω — влажность пара, h — уровень воды, d — относительная паровая нагрузка. В основе методики расчета ДСХ лежит использование полученного экспериментально на номинальной нагрузке коэффициента неравномерности скорости выхода пара *w* с зеркала испарения $К_н$, равного отношению $w_{макс}/w_{ср}$ [1]. Применяется позонный метод расчета влажности с разбиением зеркала испарения на *i* зон с последующим средневзвешенным суммированием. Чтобы методика расчета влажности была универсальной и всережимной, необходимо получить математическую модель зависимости $w\ (d,\ i,\ К_н)$.

Для парогенераторов АЭС с ВВЭР-1000 значения i лежат в пределах от 6 до 20; d — от 0 до 1,1; Кн — от 1,15 до 1,35. Ниже для компактности изложения рассматривается вариант линейного характера зависимостей.

Зависимость скорости пара от номера зоны описывает формула:

$$w(i) = a + bi \quad (1)$$

Учет параметра d усложняет формулу (1):

$$w(i,d)=(a_1d + a_2) * i + (b_1d + b_2). \quad (2)$$

Для учета третьего параметра (Кн) каждый из коэффициентов $(a_1,\ a_2,\ b_1,\ b_2)$ выражения (2) заменяется линейной функцией Кн:

$$a_1 = a_{11}Кн + a_{12},\quad a_2 = a_{21}Кн + a_{22}\quad b_1= b_{11}Кн + b_{12},\quad b_2 = b_{21}Кн + b_{22}$$

Таким образом, при использовании простейших линейных моделей максимальное число «степеней свободы» (постоянных коэффициентов $a_{11}, \ldots, b_{22}$) в эмпирической формуле $w(d,\ i,\ Кн)$ составляет 8. При использовании для моделирования более сложных нелинейных выражений, например, полиномов второй, третьей степени число постоянных коэффициентов существенно возрастает

Литература

1. **Парчевский В.М., Гурьянова В.В.** Расчет и моделирование двухмерной сепарационной характеристики парогенератора АЭС с ВВЭР. — Теплоэнергетика. 2017. №1. С. 25–30.

С.А. Василенко, А.Р. Ефимова, студ.;
рук. В.А. Биленко, д.т.н. проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП УТЭЦ НЛМК

Объектом управления рассматриваемой автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) является Утилизационная теплоэлектроцентраль (УТЭЦ) Новолипецкого металлургического комбината (НЛМК) с установленной электрической мощностью 150 МВт. На УТЭЦ установлены три паросиловых блока с параметрами острого пара 9,8 МПа и 540 °С. Каждый блок включает энергетический барабанный котел Е-220–9,8-540ГД, паровую турбину ПТ-40/50–8,8/1,3 и генератор ТТК-50-2УЗ-П.

Технологическая модернизация УТЭЦ состоит в осуществлении максимальной утилизации доменного газа с минимизацией расхода природного газа, а также в установке четвертого котла и переходе от блочной тепловой схемы к тепловой схеме с поперечными связями, при которой все четыре котла генерируют пар в общую паровую магистраль, откуда пар направляется на паровые турбины и, в дальнейшем, возможно, на воздуходувку.

Управление технологическими процессами на УТЭЦ производится с помощью программно-технического комплекса (ПТК) SPPA-T3000 с контроллерами Simatic S7–400 «Siemens». При модернизации существующей АСУ ТП УТЭЦ возникает ряд нетривиальных задач для внедряемых многосвязных автоматических систем регулирования (МАСР) УТЭЦ, в частности:

1) Регулирование расхода природного газа к горелкам паровых котлов (автоматизация различных режимов совместного сжигания доменного и природного газа [1]) при топливных возмущениях со стороны доменного газа;

2) Регулирование давления пара в общей паровой магистрали;

3) Регулирование уровня воды в барабанах паровых котлов.

Авторами был произведён анализ исследований и опыта применения их результатов для различных типов энергетического оборудования, которые стали базой для внедрения МАСР модернизируемой АСУ ТП УТЭЦ НЛМК.

Литература

1. **Биленко В.А.** Разработка методических основ, исследование и внедрение многосвязных автоматических систем регулирования теплоэнергетических объектов: автореф … дис. д-ра техн. наук: 05.13.06; [Место защиты: НИУ МЭИ]. — Москва, 2012–40 с.

Ф.М. Титов, студент;
рук. И.А. Щербатов к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

Оценка технического состояния энергетических систем стала достаточно острой проблемой в настоящее время. Данная задача в первую очередь связана с тем, что большая часть электроэнергетического оборудования в России выработала заложенный ресурс, а сроки эксплуатации превышают изначально запланированные.

Поэтому для решения данной задачи требуется провести оценку технического состояния объектов энергетики. Оценка проводится на основании большого количества информации, в частности для этого используются различные методы искусственного интеллекта [1]. Для получения и обработки информации в настоящее время широко внедряются различные системы мониторинга технического состояния оборудования. Зачастую оценка технического состояния не возможна без учета экспертных знаний, наличие которых позволяет повысить качество оценки за счет учета факторов, которые сложно формализуются с использованием традиционного математического аппарата.

Развитие современной компьютерной техники позволило приблизиться к решению данной задачи, с применением интеллектуальных методов обработки информации. Важной особенностью обрабатываемых данных является их слабая структурированность, неопределенность и возможная неполнота, в таком случае применение алгоритмов, требующих точных оценок и полноту данных становится неправомерным. Автором [1] для обработки подобных данных предлагаются к рассмотрению методы нечеткой логики и методы искусственных нейросетей (ИНС).

Для реализации алгоритмов ИНС необходимо иметь грамотно сформированную обучающую выборку. Одним из рассматриваемых методов подготовки (классификации) данных являлся метод нечеткой кластеризации. Главным преимуществом рассматриваемого метода является возможность работы в условиях почти полного отсутствия информации о законах распределения данных. Так же нечеткая кластеризация позволяет относить один и тот же элемент к разным кластерам, что характерно для рассматриваемых данных.

Литература

1. **Хальясмаа А.И.** Разработка системы оценки технического состояния электросетевого оборудования на основании нейро — нечеткого логического вывода. // Автореферерат диссертации. Екатеринбург — 2015

Д.М. Суслов студ.; рук. А.В. Андрюшин д.т.н. проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ВПРЫСКОВ КОТЛА НА ЭКОНОМИЧНОСТЬ

Температура — один из главных параметров, контролируемых на станции. Особенно важно поддерживать температуру пара, идущего в турбину, чтобы обеспечивать её надежную и долговечную работу.

Существуют два основных метода регулирования этого параметра: паровое и газовое, рассмотрим первый из них. Его суть заключается в использовании пароохладителей, впрыскивающих питательную воду или конденсат в поток частично перегретого пара с разницей температур около 200–300 °С. [1]

Но как данный метод регулирования температуры влияет на экономичность? Эта проблема актуальна и по сей день, ведь как известно, для поддержания необходимого значения температуры острого пара в основном применяют метод парового регулирования. Для ответа на этот вопрос нами был произведен расчёт принципиальной тепловой схемы энергоблока в состав, которого входит котел ТГМП-314 и турбина К-300–240-ЛМЗ [2]. А также произведена оценка возможности изменения электрической мощности путем регулирования расхода воды на впрыск, приняв за допущение давление острого пара перед входом в турбину постоянному значению равному 25 МПа, учитывая при этом недопустимость слишком низких или высоких температур пара.

Полученные нами данные были сопоставлены с результатами исследований, проведенными в ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», по влиянию штатных впрысков питательной воды в паровой тракт котла ПК-41 на его экономичность и надежность работы [3]. Показано, что при увеличении расхода впрыска, при постоянных параметрах питательной воды, температуры перегретого и вторичного пара приводит к уменьшению КПД котла, ухудшению экономичности. Нами так же показано, что при увеличении воды на впрыск идёт ухудшения экономичности или уменьшения электрической мощности, вырабатываемое блоком, но это уменьшение, достаточно мало.

Литература

1. **Резников М.И.** Парогенераторные установки электростанций. М.: Издательство «Энергия», 1974
2. **Рыжкин В.Я.** Тепловые электрические станции. Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. **Шелыгин Б.Л.,** Панков С.А., Мельников А.В., Базеев Н.В., Анализ влияния штатных впрысков питательной воды в паровой тракт котла ПК-41 на экономичность и надежность работы // Вестник ИГЭУ. — 2011. — №4. — С. 11–15.

А.С. Буслаев, студ.; рук. В.М. Парчевский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УПРАВЛЕНИЕ ВЫБРОСАМИ ОКСИДОВ АЗОТА НА ТЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАКТОРА УЩЕРБА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

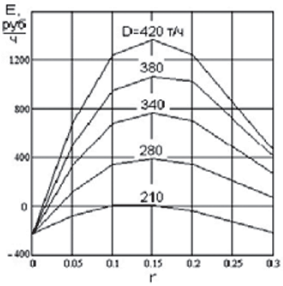
Классическое решение задачи оптимального управления технологическим процессом предполагает разработку с составе математического обеспечения АСУ критерия управления — целевой функции (ЦФ), аргументами которой являются оптимизируемые режимные параметры управляемого объекта. Обычно ЦФ имеет экономическую природу (прибыль, ущерб, КПД). Применительно к управлению выбросами в качестве ЦФ удобно выбрать критерий «чистого эффекта» E:

$$E = Up - Zpr,$$

где Up — предотвращенный ущерб окружающей среде, руб/ч; Zpr — приведенные затраты на природоохранные мероприятия, руб/ч. Ниже рассматривается использование чистого эффекта для управления выбросами оксидов азота барабанным котлом ТП-87, оснащенным рециркуляцией дымовых газов (РДГ) в качестве атмосфероохранного мероприятия при работе на природном газе. Предотвращенный ущерб определяется как разность

$$Up = U^{r=0} - U,$$

где $U^{r=0}$, U — ущербы от выбросов оксидов азота котлом соответственно без использования (r = 0) и с использованием РДГ (r > 0), рассчитанные по «Временной типовой методике определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды». На рисунке представлена зависимость чистого эффекта E, руб/ч, (в ценах 2018 г.) от степени рециркуляции r при различных нагрузках котла, от номинальной (420 т/ч) до 210 т/ч.



Используемые в расчете приведенные затраты Zpr складываются из трех составляющих: 1) дополнительных затрат на топливо вследствие снижения КПД котла из-за повышения температуры уходящих газов; 2) дополнительных затрат электроэнергии на собственные нужды; 3) амортизационных отчислений на оборудование РДГ. Рисунок показывает, что на всех нагрузках, кроме 210 т/ч, практически при всех значениях параметра r использование рециркуляции как атмосфероохранного воздействия рентабельно (E>0, чистый эффект положителен).

А.О. Барабанов, аспирант;
рук. С.В. Гужов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ЗДАНИЯ

За последнее десятилетие в России наблюдается существенный скачок в развитии строительного сектора. Строительство новых и реконструкция уже существующих объектов влечет за собой разработку перспективных схем теплоснабжения. Согласно [1] обязательным разделом при разработке схемы теплоснабжения является перспективный баланс тепловой мощности источников тепловой энергии и тепловой нагрузки потребителей. Планирование отпуска тепловой энергии с источников, полезного отпуска тепловой энергии и технологических потерь в тепловых сетях дает возможность теплоснабжающим компаниям максимально точно планировать бюджет.

Предлагается рассмотреть возможность прогнозирования тепловых нагрузок потребителей с помощью нейросетевого моделирования. В качестве примера была спрогнозирована тепловая нагрузка бассейна НИУ «МЭИ». Побор моделей сетей был осуществлен в расчетном комплексе Statistica [2]. В качестве входных данных были использованы архивные ежемесячные показатели с января 2009 года по декабрь 2017 года — среднемесячная температура наружного воздуха, относительная влажность, количество потребляемой электрической энергии, число людей, количество часов работы саун. Имеющийся массив был разбит на 98 тренировочных, 5 тестовых и 5 контрольных данных. Наилучшим вариантом модели нейронной сети оказался многослойный персептрон MLP 10-12-1. Модель содержит 12 нейронов в скрытом слое, активационная функция нейронов скрытого слоя — логистическая, выходного слоя — тангенциальная. Среднее относительное отклонение выходного параметра сети на тренировочных данных — 2,41%; на тестовых данных — 3,8%; на контрольных данных — 4,64%.

Прогнозирование теплопотребления зданий имеет особую роль при недостаточности данных.

Литература

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 22 февраля 2012 г. №154 «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения».
2. Statistica Автоматизированные нейронные сети: http://statsoft.ru/products/STATISTICA_Neural_Networks/.

Секция 48.
ТЕПЛОТЕХНИКА И МАЛАЯ РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Председатель секции — Антаненкова Ирина Сергеевна
Секретарь секции — Королева Анастасия Павловна

А.А. Авдеева, А.С. Горносталь, студенты;
рук-ли Е.В. Джураева, к.т.н., доц.;
К.И. Кузнецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ ЦИКЛА ПГУ С РАБОЧИМИ ТЕЛАМИ ФТОРУГЛЕРОДНОГО СОСТАВА В УТИЛИЗАЦИОННЫХ КОНТУРАХ

В настоящее время в энергетике многих стран широко внедряются комбинированные парогазовые энергетические установки (ПГУ), работающие по схеме бинарного цикла. Сочетание двух энергоблоков: газотурбинного, имеющего высокую температуру продуктов сгорания и паротурбинного, позволяющего максимально использовать теплоту уходящих газов — с точки зрения термодинамики дает возможность существенного повышения средней температуры подвода теплоты, а, следовательно, снижения расхода топлива на удельную выработку энергии.

Использование водяного пара в паротурбинных энергетических установках в качестве рабочего тела достигло предела своих возможностей, как по единичной мощности блока, так и по экономическим показателям.

Цель нашей работы — решение ряда вышеперечисленных проблем, а именно — поиск новых рабочих тел, обеспечивающих полное или частичное их решение.

Результатом настоящей работы является оптимизация применения веществ фторуглеродного класса в утилизационных контурах по одному из вариантов схемного решения (рис. 1)

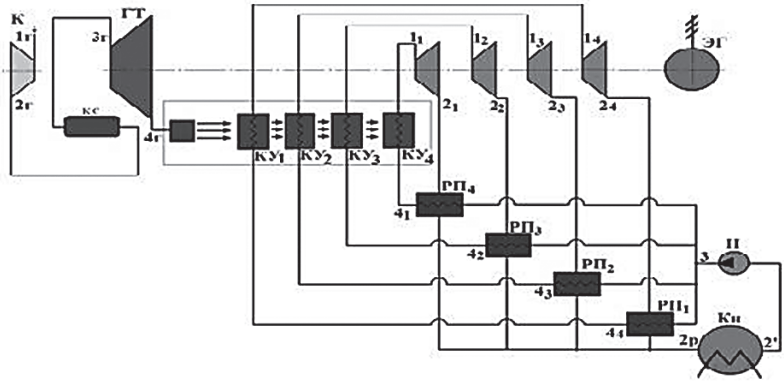


Рис. 1 Схема ПГУ

А.А. Воробьев, Я.А. Кирюхин, студенты;
рук. Ю.А. Геллер, к.т.н (НИУ «МЭИ»)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В МОСКВЕ

В последние годы актуален вопрос о переводе традиционных источников энергии (ТИЭ) на альтернативные рельсы — возобновляемые источники энергии (ВИЭ): энергия ветра, гидроэнергия, гелиоэнергетика и т.п. Это связано с большим рядом причин: антропогенные выбросы, ограниченность ресурсов, увеличение потребления электроэнергии и т.п. Сегодня ВИЭ привлекают все большее внимание, как общественности, так и руководств многих государств, международных организаций.

ВИЭ включают широкий спектр источников энергии и технологий их преобразования в полезные для человека виды (электричество, тепло, холод и т.п.). Большая часть ВИЭ имеют солнечное происхождение (само солнечное излучение, ветер, водные потоки, биомасса). К «несолнечным» относятся геотермальная энергия, сбросное тепло [1], получение энергии из отходов и др. Известно, что почти все источники могут претендовать на то, чтобы найти эффективное применение в том или ином секторе экономики.

Цель проекта — выявить возможные и оптимальные способы внедрения ВИЭ в Москве.

Задачи: 1. Проанализировать особенности применения ВИЭ в Центральном Федеральном округе и в Москве в частности по географическим и климатическим показателям.

2. Рассмотреть эффективность применения «зеленой» энергии в Москве.

3. Предложить модель использования альтернативных видов ВИЭ.

Результаты исследования позволяют оценить эффективность использования ВИЭ в Москве. В ходе проделанной работы проанализированы карты ветровой и солнечной активности, а также снежного покрова территории России, на основе которых доказана нерациональность использования «зеленой» энергии в Центральном Федеральном округе России. Взамен предложена модель, которая сможет повысить эффективность выработки энергии и улучшить экологию города.

Литература:

1. **Попель О.С.** Возобновляемые источники энергии в регионах Российской Федерации: проблемы и перспективы Энергосовет. 2011. №5 (18). С. 22–27.
2. **Козлов С.В.** Возобновляемая энергетика в России и германии: состояние и перспективы правового регулирования Юридический вестник молодых ученых — М.: 2015. №1 — с. 31–39.

А.А. Романов, студ.; рук. Б.И. Казанджан, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

О ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕЛИОУСТАНОВОК С ПАРАБОЛОЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ КОНЦЕНТРАТОРАМИ И ПУТЯХ ЕЁ УЛУЧШЕНИЯ

Одна из перспективных технологий использования солнечной энергии — гелиоустановки с параболоцилиндрическими концентратами [1], чаще всего представляющие собой вакуумированные модули, в которых с помощью фокусируемого лучистого теплового потока нагревается высокотемпературный теплоноситель. Удаление воздуха из полости между теплоприёмной поверхностью и стеклянной оболочкой позволяет практически полностью устранить конвективные тепловые потери с поверхности, поглощающей излучение. Нагретый в каскаде таких модулей теплоноситель в дальнейшем можно использовать для технологических целей или в установках прямой генерации пара на солнечных электростанциях (СЭС). Подобные установки с меньшей степенью концентрации солнечного теплового потока и, соответственно, меньшей итоговой температурой теплоносителя могут применяться также и для целей теплоснабжения предприятий и жилых домов.

В данной работе на примере цилиндрического модуля на базе высокотемпературного теплоносителя Terminol-66 исследуется влияние скорости ветра, величины инсоляции, температуры теплоносителя на входе в модуль, и других факторов на величину тепловых потерь, а также предлагаются возможные пути снижения их влияния.

Полученные результаты позволяют сравнить вклад каждого из определяющих факторов в суммарные тепловые потери (а, следовательно, в снижение эффективности всей гелиоустановки) и выбрать из них наиболее значимые, устранять которые следует в первую очередь.

Расчёт различных тепловых режимов проведён по известным критериальным уравнениям радиационного и конвективного теплообмена [2] с учётом поправок и дополнений, рекомендуемых для исследуемой установки [1, 3].

Литература

1. **Jeffrey M. Gordon.** Solar energy, the state of the art. Published by James and James Publishers Ltd, 2001.
2. **А.В. Клименко, В.М. Зорин**. Теплоэнергетика и теплотехника. Кн. 2. Теплотехнический эксперимент — М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
3. **Дж. Даффи, У. Бекман.** Основы солнечной теплоэнергетики. Пер. с англ.: Учебно-справочное руководство — Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2013.

Р.И. Басидов, студ.;
рук. К.И. Кузнецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ОПИСАНИЯ РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ О ПЛОТНОСТИ ВЕЩЕСТВА C_4F_8 В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ «WOLFRAM MATHEMATICA 8»

В данной работе представлена методика расчета, позволяющая определить теплофизические свойства не изученных, на настоящий момент, веществ фторуглеродного состава, которые в перспективе могут найти свое применение в качестве альтернативных рабочих тел в энергетических установках.

Главной задачей является выведение уравнения состояния, на основе которого возможно рассчитать основные термодинамические функции в безразмерной форме. Для достижения поставленной цели был проведен эксперимент, результаты которого использовались в качестве исходных данных.

Опытные данные, полученные методом пьезометра постоянного объема [1], описаны безразмерным уравнением вида

$$z = f(\omega,\tau), \quad (1)$$

где $\omega=\rho/\rho_{кр}$, $\tau=T/T_{кр}$. Экспериментальные данные имеют среднеквадратичное отклонение не более 0,2% в рабочей области исследования.

Расчет осуществляется по соотношениям известных дифференциальных уравнений термодинамики [2]. Для программирования расчетных формул в программном пакете: «Wolfram Mathematica 8» вводятся следующие обозначения: A_0, A_1, A_2 и т.д. согласно методике [3].

Результатом расчета являются значения энтальпии и энтропии в неизвестном ранее диапазоне температур.

Литература

1. **Гранченко П.П., Кузнецов К.И., Сухих А.А., Скородумов С.В.** Экспериментальные измерения плотности октафторциклобутана в области параметров работы теплосиловых установок // Надежность и Безопасность Энергетики, 2016. №3 (34), с. 35–38
2. **Сычев В.В.** Дифференциальные уравнения термодинамики. Издательский дом МЭИ, 2010
3. **Сычев В.В. и др.** Термодинамические свойства азота М., Издательство стандартов, 1977

О.В. Колесников, соиск.; рук. Р.В. Трушаков, к.т.н., ст.пр. (Филиал НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЭР НА НУЖДЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Непрерывный рост тарифов на ТЭР заставляет промышленного потребителя следить за бережливым производством.

Актуальность данного исследования определяется развитием теплотехнологий и теплотехники и в модернизации существующих систем теплоснабжения.

Так, например, была исследована типовая технологическая линия по нагреву заготовок за счёт высокотемпературного потенциала продуктов сгорания топливно-воздушной смеси. В качестве топлива используется природный газ.

Промышленным предприятием была поставлена задача оптимизировать технологическую линию и печь нагрева заготовок, повысить скорость выхода конечной продукции.

В ходе обследования печи нагрева при помощи тепловизора Testo 881–1 в секторе отвода дымовых газов выявлен высокотемпературный потенциал вторичного тепла в пределах 100 ^{0}C [1].

Предложенная рекуперативная поверхность нагрева на рассматриваемом участке позволяет не только снизить издержки предприятия на покупку тепловой энергии на нужды отопления или ГВС цеха, но и увеличить скорость нагрева заготовок, повысить эффективность самой линии.

Вне зависимости от основной технологии производства интерес представляет и остаточная теплота, содержащаяся в отработавших продуктах сгорания, которую можно повторно использовать в качестве вторичного энергоресурса.

Литература

1. **Бойко Е.А.** Котельные установки и парогенераторы (тепловой расчет парового котла): Учебное пособие. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005.

А.П. Ранько студ.; рук. С.В. Гужов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБЛАЧНОСТИ НЕБОСВОДА НА ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ ЗДАНИЙ

В работе проведена разработка математического аппарата для расчета тепловых потерь излучением в зависимости от различных погодных условий для дальнейшего поиска наиболее энергоэффективных материалов и видов внешних покрытий зданий.

Были приняты следующие допущения: взаимное излучение от других зданий отсутствует, влагосодержание постоянно для любой исследуемой высоты облака, облака рассматриваются как непрозрачные тела.

Результирующий тепловой поток излучением, записанный с помощью уравнения Стефана-Больцмана [1]:

$$Eрезi=\sigma_0(\varepsilon_i T_i^4 - \varepsilon_o T_H^4),\ Вт/м^2; \quad (1)$$

где ε_i, ε_o — степень черноты здания и облаков соответственно; T_i, T_H — температура наружной поверхности здания и воздуха на высоте расположения облака, К; σ_0 — постоянная Стефана-Больцмана.

Количество поглощенного излучения влагой, содержащейся в воздухе можно определить, вычислив интеграл по высоте от потерь.

$$\Delta E_i = \int_0^{H_i} E_{\text{рез}i}\, \Psi\, dH,\ \text{Вт/м}^2; (2)$$

где H_i — высота, м, Ψ — объемная доля влаги в воздухе.

Поскольку световой поток имеет ту же природу, что и излучение, можно сделать допущение, что коэффициент ψ, показывающий отношение светового потока, приходящегося на окно к потоку от всех стен будет равен отношению плотности потоков излучением для тех же поверхностей

Количество теплоты от излучения, приходящегося на окно:

$$Q_{вн.ок} = (E_{рез} - \Delta E_i)\psi T n \Sigma F_{пом},\ Вт; \ (3)$$

где T — коэффициент направленного пропускания света; $\Sigma F_{пом.}$— суммарная площадь всех стен помещения, n — количество окон в здании.

С помощью уравнений (1)–(3) можно записать суммарный тепловой поток излучением от всех поверхностей здания:

$$Q_{изл} = \Sigma(E_{резi} - \Delta E_i)\, F_i + Q_{вн.ок},\ Вт; (4)$$

В результате расчета зданий г. Анадырь было получено, что наибольшие тепловые потери излучением соответствуют теплой безоблачной погоде, что обосновывается большей разностью температур поверхностей сооружений и воздуха на большой высоте, т.к. последняя меняется незначительно от времени года.

Литература

1. **Цветков Ф.Ф.** Задачник по тепломассообмену. М.: МЭИ, 2008.

А.О. Иванова, студ.;
рук. И.С. Антаненкова, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ЦИКЛА ГАЗОПОРШНЕВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Газопоршневая энергетическая установка (ГПЭУ) представляет собой эффективную систему генерации, которая преобразует внутреннюю энергию топлива в электричество. Чаще всего, для питания таких объектов используют природный газ, бутан, пропан, пиролизный, древесный и коксовый газы. Современные газопоршневые технологии являются одними из наиболее востребованных в секторе технологий малой и распределенной энергетики.

Цель работы — разработка методики расчета термодинамических параметров и КПД цикла ГПЭУ на природном газе заданного состава.

Зачастую поставленная задача решается в приближении, что рабочее тело ГПЭУ — воздух, что снижает точность получаемых результатов. Однако, определение параметров цикла ГПЭУ в приближении реального рабочего тела — смеси топлива с воздухом в процессе сжатия и смеси продуктов сгорания в других процессах — это целый комплекс термодинамических расчетов, выполнение которых можно существенно упростить за счет применения современных программных продуктов.

Постановка задачи: необходимо рассчитать параметры и эффективность ГПЭУ, работающей по циклу Отто на природном газе (объемный состав: $r_{CH4} = 0{,}938$, $r_{C2H6} = 0{,}02$, $r_{C3H8} = 0{,}008$, $r_{C4H10} = 0{,}003$, $r_{C5H12} = 0{,}001$, $r_{N2} = 0{,}026$, $r_{CO2} = 0{,}004$) в среде Mathcad при заданных параметрах: давление на входе p_1 = 0,1МПа, температура t_1 = 60 °С, температура на выходе t_4 = 450 °С, степень сжатия равна 8.

Алгоритм решения поставленной задачи следующий:

1) Определение состава природного газа, поступающего в установку.

2) Определение объема воздуха, теоретически необходимого для сжигания 1 м^3 газа при нормальных условиях.

3) Расчет параметров смешения потока газа (1 м^3) с воздухом (теоретическим объемом) при t_1 = 60 °С.

4) Расчет процесса адиабатного сжатия смеси топлива с воздухом в ГПЭУ (с учетом зависимости показателя адиабаты k от температуры).

5) Определение объема продуктов полного сгорания топлива.

6) Расчет процессов подвода и отвода теплоты, процесса расширения продуктов полного сгорания (с учетом $k = f(T)$).

7) Расчет термического КПД цикла ГПЭУ.

КПД цикла ГПЭУ при заданных исходных данных, рассчитанный по предложенному алгоритму, составил 45,61%; при аналогичных параметрах в приближении, что рабочим телом является воздух, — 42,91%.

Е.О. Ходяшов студ., рук. Ю.А. Геллер к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ИЗУЧЕНИЕ СТЕПЕНИ ПОДГОТОВКИ ПЕЛЛЕТ НА ПРОЦЕСС СГОРАНИЯ

Биотоплива являются одним из вариантов развития энергетики страны и позволяют снизить негативное влияние на окружающую среду, путём переработки и улучшения теплотворных свойств.

В исследовании были использованы исходные (спрессованные измельчённые древесные отходы производства) и торрефицированные пеллеты (подвергнутые низкотемпературному процессу пиролиза сырья при температуре от 200˚С до 300 ˚С). Торрефицированные пеллеты имеют большую теплоту сгорания, хорошие гидрофобные свойства, позволяющие в дальнейшем хранить биотопливо, не опасаясь его намокания [3].

Представлены результаты исследования экзотермического эффекта, заключавшегося в нагревании разных образцов пеллетизированной древесины исходной и торрефицированной.

Экспериментально были определены: изменение массы образца в процессе нагрева (ТГ — термогравиметрическая зависимость), величина теплового потока с помощью термоанализатора SDT Q600. Одновременно проведен дифференциальный сканирующий калориметрический анализ (ДСК) [2]. Вместе с устройством управления и соответствующим программным обеспечением («Universal Analysis 2000») — термоанализатор SDT Q600 образует систему для термического анализа с диапазоном температур до 1500˚С [1].

Полученные результаты выведены программой Universal Analysis 2000 в виде графиков, с помощью которых были выведены основные внутренние факторы пеллет, такие как: количество выделяемых летучих веществ, твёрдого остатка, теплоты при окислении.

Торрефицированные пеллеты, использовавшиеся в экспериментах, получены на пилотной установке ОИВТ РАН по торрефикации в процессе трех пусков. Полученные результаты, могут быть использованы для увеличения теплотворной способности пеллет, а также для рекомендаций по настройке аппаратов по их производству.

Литература

1. TA Instruments SDT Q600, электронный вариант описания установки (Eng), www.tainst.com;
2. Совмещённый ДСК-ТГА Q600. Руководство пользователя. –Intertech Corporation, Москва 2003 г.;
3. Курс лекций по дисциплине «Возобновляемые углеводородные ресурсы и их использование в системах распределённой энергетики».

Дееб Равад, аспирант; рук. Д.В. Сиденков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПУЧКА КАПЛЕВИДНЫХ ТРУБ РАЗЛИЧНОЙ КОМПОНОВКИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ ANSYS

Для утилизации теплоты уходящих газов ГТУ возможно применение энергоустановок, работающих по «органическому» циклу Ренкина (ОЦР), в которых в качестве разделительного теплообменника могут применяться пучки труб каплевидной формы [1, 2].

С помощью пакета ANSYS проводится численное исследование гидродинамического сопротивления пучка труб каплевидной формы различной компоновки после напряжённо-деформированного состояния в диапазоне изменения скорости набегающего потока u=1,33 ÷ 7 м/с.

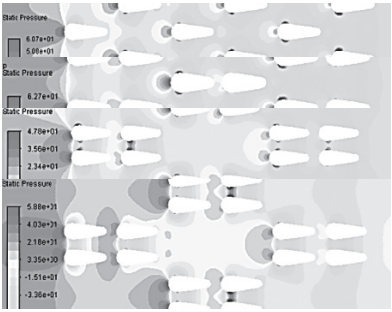


Рис. 1. Распределение давления в различных компоновках пучка труб каплевидной формы при u=7 м/с.

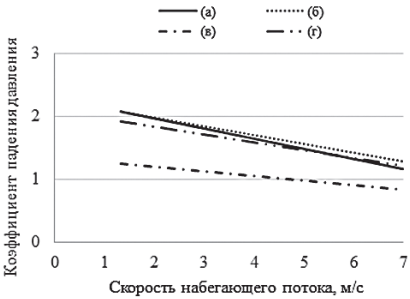


Рис. 2. Изменение коэффициента падения давления пучка в зависимости от скорости набегающего потока.

На рис. 1 представлено распределение давления в исследуемых пучках после деформации. Предварительные результаты вычислительного эксперимента показывают, что компоновка (в) обладает лучшими гидродинамическими характеристиками по сравнению с другими компоновками (рис. 2). Таким образом, возможно изменение гидродинамических характеристик трубного пучка путем изменения его компоновки, что определяет актуальность данного исследования.

Литература

1. **Sayed Ahmed S.A. E, Ibrahiem E.Z., Mesalhy O.M., Abdelatief M.A.** Effect of attack and cone angels on air flow characteristics for staggered wing shaped tubes bundle. Heat Mass Transfer, vol. 51, no. 7, pp. 1001–1016, 2015.
2. **Deeb R., Sidenkov D.V.** Numerical simulation of the heat transfer of staggered drop-shaped tubes bundle. IOP Conf. Series: Journal of Physics: 1359 (2019) 012135.

А.А. Романов, Р.И. Басидов, студенты;
рук. О.А. Иванин, к.т.н., стп. (ОИВТ РАН, НИУ «МЭИ»)

МЕТОД ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛА

В современном мире в условиях роста цен на топливо и возрастающей экологической нагрузки на окружающую среду (в частности, из-за выбросов парниковых газов) все большее внимание привлекает технология аккумулирования тепловой энергии. Применение тепловых аккумуляторов позволяет сгладить графики тепловой нагрузки и обеспечить оптимальный режим производства тепловой энергии.

Аккумулирование тепловой энергии особенно востребовано для нужд отопления и вентиляции зданий. В частности, в регионах с экстремально высоким суточным перепадом температур наружного воздуха потребление электрической энергии также значительно варьируется из-за неравномерности нагрузок на отопительную систему помещений ночью и днём. Применение аккумуляторов тепла позволяет сгладить пиковые тепловые нагрузки, избегая дополнительных затрат электроэнергии.

Существует несколько различных способов накопления тепловой энергии [1]: начиная с простейших теплоёмкостных аккумуляторов и заканчивая термо- и электрохимическими системами. Каждый из принципов теплового аккумулирования обладает своими преимуществами и недостатками. При выборе оптимальной системы аккумулирования тепла, необходимо принимать во внимание такие параметры как емкость, скорость износа, предполагаемый режим работы аккумулятора.

Данная работа содержит обзор современных типов тепловых аккумуляторов, а также методику расчета, позволяющую подобрать оптимальный тип и емкость аккумулятора для заданного потребителя тепловой энергии.

Представлены результаты тестовых расчетов, позволяющие сделать выводы об условиях эффективного применения различных типов тепловых аккумуляторов.

Литература

1. **Дж. Даффи, У. Бекман.** Основы солнечной теплоэнергетики. Пер. с англ.: Учебно-справочное руководство — Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2013.

А.С. Ежов, студ.; рук. К.В. Строгонов, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ

В работе [1] была рассмотрена задача энергосбережения стекловаренной печи, производительностью 50 тонн в сутки.

В данной работе были рассмотрены технология производства листового стекла [2], в частности были изучены различные сырьевые материалы, их влияние на готовый продукт. Исследована обработка шихтовых материалов, превращение их в стекломассу и затем в конечный продукт [3].

Был произведён расчёт геометрии традиционной ванны стекловаренной печи. Для этого был произведён подбор шихты для определённого состава стекла, были рассчитаны материальный баланс горения топлива и процесса стеклообразования. Также был рассчитан тепловой баланс печи.

Из расчёта энергосберегающего мероприятия (замена рекуператора на установку рекуперативных горелок с повышением температуры воздуха с 400 до 1000 °С) можно сделать следующий вывод:

Повышение температуры воздуха, подаваемого в горелки, увеличение стеклобоя в шихте и уменьшение коэффициента расхода окислителя может значительно увеличить КПД установки и снизить расход топлива. В данном случае КПД установки увеличился на 3.5% (с 12.5% до 16%), а расход топлива уменьшился на 33%

Литература

1. **Ежов А.С., Строгонов К.В.** Мероприятия по повышению энергоэффективности стекловаренных печей // Радиоэлектроника, Электротехника и Энергетика: Двадцать пятая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (14–15 марта 2019 г. Москва):
2. Производство стекла Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. — М.: Издательство «Бюро НДТ», 2015. — 89 с.
3. Доклад о целях и задачах Минпромторга России на 2017 год и основных результатах деятельности за 2016 год. Сайт Минпромторг России. [Электронный ресурс]. 2009. URL: http://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/Minpromtorg_blok_15.03_final_for_web. pdf

Н.Д. Фролова, студ.; рук. Ю.В. Шацких, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ НУЖД ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В данной работе представлен обзор способов использования солнечной энергии для нужд теплоснабжения. Целью работы являлось выявление наиболее экономически выгодных технологий использования солнечной энергии для нужд теплоснабжения.

Низкопотенциальное тепло применяется для обеспечения нужд ГВС и отопления. Такое тепло возможно получить, используя различные виды установок: плоские и вакуумные солнечные коллекторы, концентрирующие солнечные коллекторы, фотоэлектрические водонагреватели [1]. Фотоэлектрические водонагреватели обладают рядом преимуществ, сформулированных в [2]: отсутствие гидравлических систем, повышение эффективности при снижении температуры окружающего воздуха, отсутствие зависимости эффективности нагрева воды от ее температуры, менее инерционны, чем солнечные коллекторы и трубопроводы солнечного контура, возможна работа в составе когенерационной установки, возможность измерения генерируемой энергии.

Несмотря на то, что фотоэлектрические водонагреватели еще не получили широкого распространения [3], они уже сегодня являются конкурентоспособными технологическими решениями в сравнении с солнечными коллекторами. Это обусловлено не только простотой применения. В отличие от солнечных коллекторов, снижение стоимости составляющих фотоэлектрических модулей продолжается по сей день.

Литература.

1. **Даффи Дж., Бекман У.** Основы солнечной теплоэнергетики. Пер. с англ. — Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект». 2013. 888 с.
2. **Фрид С.Е., Лисицкая Н.В**. Фотоэлектрические генераторы для горячего водоснабжения // Интеллектуальная электротехника. 2018. №4. С. 52–62.
3. **Weiss W., Spörk-Dür M.** Solar Heat Worldwide. Global Market Development and Trends in 2018. Detailed Market Figures *2017*. 2019 edition, 2019.

Н.В. Кузьменков, студ.;
рук. Французов М.С., ст. преп. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА В ТРУБЕ С МИКРООРЕБРЕНИЕМ

При разработке теплообменных аппаратов зачастую остро встает проблема массы и габаритов. Во многих случаях необходимо применение средств интенсификации теплообмена и их качественный анализ. Так, сам способ должен быть экономичным и не допускающим роста потерь давления, многократно превышающих роста теплоотдачи. В трубчатых теплообменниках с турбулентным течением теплоносителя наиболее просто осуществить интенсификацию засчёт микрооребрения поверхности. Основной вклад при этом вносит не увеличение площади теплоотдачи, а создание в пристенной зоне турбулентного потока отрывных зон и организованных вихревых структур, приводящих к росту теплоотдачи [1], не вызывая при этом значительного роста гидравлических потерь, достигаемого при высоких ребрах.

В данной работе рассмотрена интенсификация процессов теплообмена в круглой трубе при турбулентном течении воздуха засчет микрооребрения выступами прямоугольной формы. Поставлена задача поиска оптимальных параметров оребрения, при которых достигается максимальное сокращение габаритов теплообменника. Поиск произведен в широком диапазоне параметров выступов и течения с привлечением программного пакета ANSYS FLUENT для численного разрешения задачи. Результаты показали хорошее согласование с данными, приведенными в классической работе [1] и были верифицированы на результатах расчета других численных моделей: трехслойной схемы турбулентного пограничного слоя Мигая и четырехслойной схемы Лобанова [2]. Выявлено влияние параметров на теплообмен и гидравлическое сопротивление, составлены критериальные зависимости для указанных параметров. Установлены наиболее эффективные параметры, позволяющие добиться наибольшего сокращения массы и габаритов.

Литература

1. **Калинин Э.К., Дрейцер Г.А. Ярхо С.А.** Интенсификация теплообмена в каналах. М.: Машиностроение, 1990. 208 с.
2. **Лобанов И.Е.** Теория интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в каналах на базе четырехслойной схемы турбулентного пограничного слоя. // Современные проблемы науки и образования. 2010. №3.

А.С. Лещенко студ., П.Н. Борисова к.т.н ассис. (НИУ «МЭИ»)

ТРИГЕНЕРАЦИЯ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Комбинированное получение произведенных энергетических ресурсов, например, как технология тригенерации, на тепловых электростанциях обладает очевидными преимуществами. Тригенерационные комплексы являются эффективным средством удовлетворения потребителей электроэнергией, теплом и холодом, необходимыми как в различных отраслях промышленности для реализации технологических процессов, так и в сфере услуг и жилищно-коммунальном хозяйстве. Тригенерация при правильном ее применении повышает эффективность сжигания топлива, улучшает энергетические и экологические показатели работы энергогенерирующих установок. Также технология тригенерации в совокупности с соответствующими технологиями аккумулирования позволяет решать проблему переменного графика нагрузок на электростанциях, которая приводит к повышению удельных показателей расходов топлива на выработку электроэнергии и тепла в периоды снижения нагрузок энергоблоков. Так, используя невостребованные электроэнергию и тепло в периоды провала нагрузок для обеспечения работы абсорбционного или парокомпрессионного термотрансформатора, наряду с получаемыми электроэнергией и теплом на станции можно выработать дополнительно холод. [1] Получение холода также обуславливает актуальность данной технологии, в виду популярности в наше время систем обеспечения комфортных условий жизнедеятельности человека.

Была проведена оценка использования технологии тригенерации на конденсационных энергоблоках за счет использования парокомпрессионного термотрансформатора, потребляющего излишки электроэнергии в периоды провала электрической нагрузки. Так, для блока К-300–240, работающего с пониженной нагрузкой, внедрение ПКТТ приводит к понижению удельного расхода топлива на выработку электроэнергии, и как следствие годовой экономии топлива на выработку заданной электрической нагрузки потребителю, равной 4596,5 т у. т. Холодопроизводительность ПКТТ при этом составит 32,3 МВт.

Полученные результаты подтвердили эффективность применения технологии тригенерации на электростнациях.

Литература

1. Основы мультигенерации: учебное пособие по курсу «Энергосбережение и ресурсосбережение в теплоэнергетике» по направлению «Теплоэнергетика» / А.В. Клименко, В.С. Агабабов, А.В. Корягин, [и др.]. — М.: Изд-во МЭИ, 2019. — 92 с.

Хлустикова К. А, Калинина Я.В., Геллер Ю.А. к.т.н.

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫХ СВОЙСТВ УТЕПЛИТЕЛЯ В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Для эффективной работы ограждающих конструкций в течение всего срока эксплуатации необходимо сохранение свойств материалов, заложенных в проекте.

В ограждающих конструкциях зданий заметно изменяются теплофизические характеристики строительных материалов как циклично (в течение года), так и во время всего периода эксплуатации. В процессе эксплуатации изоляционные материалы могут увлажняться, проседать под собственной тяжестью, «стареть», т.е. менять свои свойства в худшую сторону, как правило, из-за влаги и резкого перепада температур.

Согласно нормативной документации, ограждающие конструкции зданий имеют долговечность более 50 лет, но при этом срок годности утеплителя значительно меньше. Например, авторы [2] показали, что минераловатные плиты служат до 15 лет, а далее наблюдаются потери в массе, пыление в вентилируемом фасаде от 2 до 8% в год, а беспрессовый пенополистирол за 20 лет разрушается.

Долговечность теплоизоляционных материалов [3] обеспечивается стабильностью в процессе старения пожарно-технических, теплофизических и прочностных характеристик.

В этом случае снижается теплоизолирующая характеристика ограждающей оболочки, так как изменяется коэффициент энергетической эффективности, согласно [1], или ухудшаются условия микроклимата внутри здания.

Влага в утеплитель может попасть разными путями — прямые осадки, вода из грунта, влажность из воздуха, пары из помещения, конденсация в толще стены и т.д.

В работе рассмотрены причины «старения» утеплителей и изменения теплопроводности, как основного их показателя.

Литература

1. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий
2. **Ярцев В.П.** Эксплуатационные свойства и долговечность теплоизоляционных материалов (минеральной ваты и пенополистирола) Ярцев В.П., Мамонтов А.А., Мамонтов С.А. Кровельные и изоляционные материалы. 2013. №1. С. 8–11.
3. ГОСТ 32314–2012 (EN 13162:2008) Изделия из минеральной ваты теплоизоляционные промышленного производства, применяемые в строительстве. Общие технические условия

О.А. Власов, студ.; рук. Т.А. Степанова. к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ») г. Москва.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТКО И ПРОДУКТОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ КОТЕЛЬНЫХ И МИНИ-ТЭЦ В РЕСПУБЛИКЕ КАРЕЛИЯ

В России, по данным Росстата, для целей теплоснабжения в коммунальном секторе было использовано 4,9 млн т у. т. нефти и нефтепродуктов за 2017 год. При этом из 85 субъектов Российской Федерации на 15 регионов приходится до 70% потребления нефти и нефтепродуктов для этих целей. Потребление нефтепродуктов в сфере теплоснабжения в Республике Карелия составляет 354 тыс. т у. т в год.

Правительство РФ мотивирует нефтяные компании к увеличению выхода светлых нефтепродуктов на НПЗ [1], поэтому ежегодно цена на мазут повышается, а это ведет к увеличению себестоимость получаемой теплоэнергии и повышению государственных субсидий для рассматриваемого региона.

В данной работе оценивается возможность использования альтернативных видов топлива в республике для теплоснабжения, собраны сведения об объемах, классах опасности и морфологическом составе ТКО. По оценкам общее количество ТКО составляет 188 962 тонн в год, из них почти 30% приходятся на бумагу и картон. [2] Разработан план по превращению этого мусора в топливные пеллеты, расчетная удельная теплота сгорания которых составляет чуть менее 15 МДж/кг. Так же в регионе большое количество древесных отходов, из которых возможно производство древесных пеллет. Определена возможность как комбинированного, так и раздельного сжигания этих видов пеллет. Потенциальная мощность объектов теплогенерации на биотопливе в Карелии, она составляет 150 МВт, что даст объем замещения мазута 37,5 тыс. тн.

Использование местных видов топлива не только существенно снизит использование нефтепродуктов, но и создаст дополнительные рабочие места и улучшит экологическую ситуацию в регионе.

Литература

1. Правительства Российской Федерации от 29.12.2018 №1725 «О соглашениях о модернизации нефтеперерабатывающих мощностей»
2. Постановление правительства РК от 06.09.2017 №306-П Об утверждении Порядка сбора твердых коммунальных отходов на территории Республики Карелия.

Д.И. Лихоткина, студ.;
рук. М.Н. Никитин, к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕВАТОРНОГО УЗЛА

Элеваторный узел является основным средством регулирования внутридомовой системы отопления. Он широко использовался в домах, построенных в 80-е и 90-е годы. При этом остается актуальным и в настоящее время благодаря простоте конструкции, надежности и низкой стоимости обслуживания. Вместе с тем, настройка элеватора на действующем объекте крайне затруднена. Рассмотренная в настоящей работе методика моделирования позволяет осуществлять тонкую настройку режимных параметров элеватора вне зависимости от типа исполнения и внесенных в процессе эксплуатации конструктивных изменений.

В работе представлены результаты численного моделирования элеваторного узла многоэтажного жилого дома. Моделирование проводилось на платформе OpenFOAM в стационарной постановке с использованием турбулентности k-omega SST. Модель была верифицирована по сеточной сходимости на трех расчетных сетках. Валидация была проведена путем сопоставления результатов моделирования и расчета по известной методике [1, 2].

В результате моделирования получено аналитическую зависимость для температуры подаваемой воды и степени рециркуляции от геометрии камеры смешения и форсунки. Также была определена зависимость от положения форсунки относительно оси инжектирующего патрубка.

Разработанная модель позволила построить детальные зависимости без проведения натурных испытаний. Полученные зависимости подтвердили известные оптимальные диапазоны положения форсунки. При этом была определена двухфакторная эффективность элеватора по геометрии камеры смешения (длине, ширине и полному объему) и положению форсунки.

Литература

1. **Ахременков А.А. и др**. Термодинамический анализ систем отопления // Проблемы энергетики. 2013. No 5–6. С. 90–99.
2. **Новоселова Е.А. и др.** О методах расчета элеваторных узлов // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. No 2 (44). С. 39–42.

В.А. Горелов, студент; рук. В.С. Охотин, д.т.н., профессор;
Е.В. Джураева, к.т.н., доцент. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТЕЙ ПО ОГРАНИЧЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ О СВОЙСТВАХ

Надежный расчет любого теплотехнического оборудования обеспечивается наличием достоверных термодинамических справочных данных, которые получаются экспериментальными и расчетными методами. Однако, достаточно часто возникает ситуация, когда имеющихся в литературе данных оказываются недостаточно, или они имеются, но в ограниченной области параметров состояния. Существует много жидкостей, для которых известны свойства только при атмосферном давлении или в состоянии насыщения. Разработке методов определения свойств таких жидкостей, но при давлениях, превышающих атмосферное давление, посвящено настоящее исследование.

В используемом методе расчета термодинамических свойств принималось допущение о прямолинейности изохор в области жидкости в диаграмме p-T. Была создана программа расчета термодинамических свойств жидкостей под давлением. Для проверки метода расчета в качестве эталонной жидкости был выбран толуол, подробно исследованный в [1].

Используя данные о термодинамических свойствах при атмосферном давлении, была рассчитана плотность жидкого толуола при температурах 200К, 250К, 300К и 350К при давлениях от 0,1 МПа до 100 МПа. При температурах от 250К до 350К и давлениях до 50 МПа отклонения рассчитанных значений плотности от данных, приведенных в [1], не превышали 0,1%, а при p = 100 МПа – 0,3%. При температуре 200К отклонения составили 0,15–0,2% при $p \leq 50$ МПа и лишь при p = 100 МПа достигают 0,33%. Указанные отклонения соответствуют погрешности экспериментальных данных о плотности жидкостей (в том числе, толуола) при таких же давлениях.

Работа поддержена РФФИ (грант №18-08-01343).

Литература

1. **Охотин В.С.** Экспериментальное и расчетно-теоретическое исследование технически важных жидкостей с целью создания уравнений и таблиц теплофизических свойств высокой точности: диссертация… доктора технических наук: 01.04.14. — Москва, 1987. — 275 с.:
2. **Охотин В. С, Разумейченко Л.А., Скородумов А.В.** Скорость звука жидкого толуола при атмосферном давлении // Тр. Курск. Гос.Пед. Ин-та. — 1986. — вып. 20. – с. 106–111.

Е.С. Закомолдина, студ.;
рук. Л.В. Плотникова к.т.н., доц. (ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань)

ВЛИЯНИЕ ТИПА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ И СПОСОБА ПРОКЛАДКИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Энергия, затрачиваемая на теплоснабжение зданий и сооружений, является одной из важнейших составляющих теплового баланса РФ. При транспортировке теплоносителя от источника к потребителю теряется до 30% отпускаемой тепловой энергии. Таким образом, снижение количества теряемой при транспортировке тепловой энергии является одним из актуальных вопросов в сфере теплоэнергетики.

Теплопотери зависят от способа прокладки и типа теплоизоляции трубопроводов тепловых сетей. Кроме того, выбор теплоизоляционных конструкций влияет на финансовые затраты при строительстве и эксплуатации, надежность и срок службы систем теплоснабжения [1].

В России наиболее используемые теплоизоляционные конструкции — навесная изоляция (маты из минеральной ваты или стекловолокна) и предизолированные трубы с тепловой изоляцией из пенополиуретана. При выборе тепловой изоляции необходимо учитывать различные факторы: температуры транспортируемой и окружающей среды, способ прокладки тепловых сетей, соответствие санитарно-гигиеническим нормам, планируемый срок эксплуатации объекта, теплоизоляционные качества материала и т.д. Подбор оптимального способа теплоизоляции тепловых сетей позволит снизить теплопотери, а также капитальные и эксплуатационные затраты [2].

Исследование показало, что в России около 90% существующих трубопроводов тепловых сетей изолированы минеральными материалами. Выявлено, что при реконструкции и прокладке новых сетей предпочтение следует отдавать предизолированным трубам с полиуретановой изоляцией, так как они обладают невысоким коэффициентом теплопроводности: у минеральных материалов — 0,045 Вт/ (м*К); у пенополиуретана — 0,035 Вт/ (м*К). Также данные материалы характеризуются низкой способностью к влагопоглащению: 3% по объему у минеральных материалов; 0,8% по объему у пенополиуретана.

Литература

1. **Карницкий В.Ю., Филатова А.С.** Оценка возможностей энергосбережения через систему транспортирования тепловой энергии // Известия ТулГу. Технические науки. 2017. Вып. 12 Ч. 1. — 110–112 с.
2. **Путрюс Л.С**. Выбор тепловой изоляции тепловых сетей // Наука и инновации в современных условиях. 2018. — 132–134 с.

Направление

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

И.о. директора ЭнМИ,
д.т.н., профессор И.В. Меркурьев

Секция 49.
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ДВИГАТЕЛИ

Председатель секции — Росляков Павел Васильевич
Секретарь секции — Богомолова Татьяна Владимировна

Д.Р. Сверчков, асп.; рук. А.Д. Трухний, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ГТУ ДЛЯ ПГУ В РОССИИ

В последние годы, благодаря жесткой конкуренции на мировом энергетическом рынке, ведущими западными фирмами созданы уникальные образцы ГТУ, использованные для строительства надежных, высокоманевренных и экономичных ПГУ [1].

Фирма Siemens создала ГТУ SGT5-8000H мощностью 375 МВт с КПД 40% и построила на ее базе ПГУ с КПД более 60%. В 2019 году она объявила о создании ГТУ SGT5-8000HL мощностью 567 МВт с КПД 42,6%.

Фирма GEPS создала ГТУ 9HA. 01 мощностью 395 МВт с КПД 41,5% и на ее основе — ПГУ мощностью 600 МВт с КПД 61,4%.

Фирма MHPS в 2016 г. создала ГТУ M701J мощностью 470 МВт с КПД 41% и на ее основе — ПГУ мощностью 682 МВт с КПД 61,7%.

Фирма Ansaldo Energy создала ГТУ GT36 мощностью 538 МВт и заказ на строительство ПГУ мощностью 760 МВт МВт с КПД 62,6%.

К сожалению, российское энергомашиностроение не сумело создать ГТУ даже средней мощности, пригодную для работы в составе ПГУ. Наиболее продвинутой ГТУ является ГТД-110 предприятия «Рыбинские моторы». В последнее время наметились существенные сдвиги в доводке этой машины до требуемых кондиций.

Для строительства ПГУ в России является неизбежным использование ГТУ SGT5-2000E и 6FA с максимально возможной степенью локализации. Но даже освоение производства ГТД-110, SGT5-2000E и 6FA не может дать большого эффекта, так как эти машины позволяют строить только двухконтурные ПГУ с КПД на уровне 51–52%.

В заключение отметим, что главными проблемами в создании современной ГТУ является проектирование и производство охлаждаемых лопаток проточной части газовой турбины, малоэмиссионных камер сгорания, всех ступеней компрессоров и турбины, а также ротора. При правильной технической политике первая «российская ГТУ» большой мощности появится на рынке не раньше 10 лет.

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.

М.С. Постникова, студ.; В.И. Крутицкий, асп.;
рук. А.Е. Зарянкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

УТИЛИЗАЦИОННАЯ ПАРОВАЯ ТУРБИНА НА БАЗЕ ТУРБИНЫ К-200–130 ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С ДОБАВОЧНЫМ ПЕРЕГРЕВОМ ПАРА ПОСЛЕ ЦСД ОСНОВНОГО БЛОКА

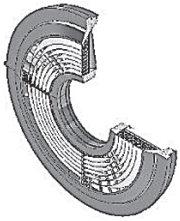


Рис. 1. Модель сопловой решетки последней ступени ЦНД с предвключённым распределением пара

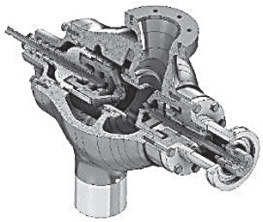


Рис. 2. Модель используемого стопорно-регулирующего клапана утилизационной паровой турбины

Совершенствование проточной части турбомашин является актуальным на протяжении многих лет. Работа направлена на создание паровой турбины на базе турбины К-200–130 для утилизации добавочной тепловой энергии, получаемой за счёт третьего высокотемпературного перегрева пара после ЦСД основной турбины (альтернативный цикл А.Е. Зарянкина).

Предлагается следующая модернизация первой модификации турбины К-200–130. Во-первых, замена предпоследней (ступени Баумана) и последней ступени цилиндра низкого давления на ступень с высотой лопатки 960 мм с предвключённым распределением пара по длине сопловой решетки (рис. 1). Установка кольцевых распределительных решёток позволит снизить потери от большой перекрыши между ступенями и организовать более равномерный подвод пара к сопловой решётке.

Во-вторых, необходимо заменить все клапаны взятой за базу турбины К-200–130 на разработанную конструкцию выносной системы парораспределения с использованием созданного стопорно-регулирующего клапана (рис. 2), обладающего низким гидравлическим сопротивлением (не выше 2% от начального давления пара) и высокой надежностью [1].

Все вышеуказанные способы модернизации паровой турбины позволят значительно повысить экономичность разрабатываемого утилизационного блока.

Литература

1. **Зарянкин А.Е.** Регулирующие и стопорно-регулирующие клапаны паровых турбин // Москва: изд-во МЭИ, 2005. — 359 с.
1. **Зарянкин А.Е., Черкасов М.А., Крутицкий В.И., Лавырев И.П.** Использование ступени Баумана в цилиндрах низкого давления конденсационных турбин. / Теплоэнергетика. 2019. №9. С 24–32

М.Е. Кочетышкин, студ.;
рук. В.Г. Грибин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ВЛАЖНОПАРОВЫХ ТУРБИН ДЛЯ АЭС

Повышение аэродинамической эффективности проточных частей турбин ТЭС и АЭС — актуальная задача, решение которой позволит повысить конкурентоспособность энергетического оборудования отечественных производителей на мировом рынке. На сегодняшний день сохраняется прирост числа энергоблоков и единичной мощности реакторных установок. Отмечается тенденция к переходу от дубль-блоков к моноблочной компоновке, при которой один реактор снабжает паром одну турбину, что вкупе с ростом единичной мощности РУ ведет к увеличению мощностей турбоустановок АЭС и теряемой в них мощности.

Анализ потерь в проточной части турбины К-1000-60/3000 [1] выявил наличие значительного резерва повышения экономичности. Применение сотовых надбандажных уплотнений в части высокого давления дает прирост относительного внутреннего КПД ступени ЧВД порядка 0,6% [2], относительно уплотнений традиционной конструкции. Применение меридионального профилирования лопаток малой высоты (первые ступени ЧВД) с помощью программных средств вычислительной газодинамики дает относительный прирост внутреннего КПД ступени в 2%. Исследования, проведенные на кафедре паровых и газовых турбин НИУ «МЭИ» и в ряде других организаций, показали, что использование в проточной части современных сопловых и рабочих лопаток с повышенной сепарирующей способностью, сочетание периферийной и внутриканальной сепарации, позволяет получить прирост относительного внутреннего КПД ступени в 1,5%.

Повышение технико-экономических показателей достигнуто за счет применения 3D профилирования с применением методов снижения концевых и профильных потерь, применения новых типов уплотнений, внедрения современных способов влагоудаления. Многолетний опыт повышения экономичности турбоустановок за счет модернизации конструкции элементов проточной части показывает перспективность этого направления работы.

Литература

1. **Кочетышкин М.Е., Грибин В.Г.** Повышение аэродинамической эффективности проточной части турбин АЭС // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы XXV Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, М.: МЭИ, 2019.
2. **Костюк А.Г., Булкин А.Е., Трухний А.Д.** Паровые турбины и газотурбинные установки для электростанций. М.: Издательский дом МЭИ, 2018.

В.И. Крутицкий, асп.; Д.Б. Куроптев, студ.;
рук. А.Е. Зарянкин, д.т.н., проф. НИУ «МЭИ»

ЦИЛИНДР НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ С ПОЛУТОРНЫМ ВЫХЛОПОМ НА БАЗЕ ДВУХЪЯРУСНОЙ СТУПЕНИ С ВИЛЬЧАТОЙ РАБОЧЕЙ ЛОПАТКОЙ

Как известно, предельная мощность конденсационных паровых турбин определяется исходя из максимального допустимого расхода пара через цилиндр низкого давления в конденсатор. Поэтому проблема увеличения пропускной способности ЦНД является актуальной с момента создания мощных паровых турбин.

Традиционным способом повышения расхода пара в конденсатор является увеличение длины последней рабочей лопатки. Стоит отметить, что при реализации такого решения возникает множество проблем: рост потерь, связанных с увеличением веерности, резким раскрытием проточной части ЦНД, обеспечение механической прочности. Другой способ, заключающийся в увеличении количества выхлопов, имеет ограничение, так как обеспечить соосность более пяти роторов в настоящие время невозможно.

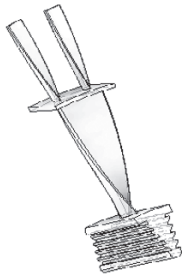


Рис. 1. Двухъярусная вильчатая рабочая лопатка

В данной работе предлагается альтернативный путь решения рассматриваемой проблемы, который заключается в использовании полуторного выхлопа. При разработке предлагаемого решения был проведен анализ недостатков ступени Баумана, использующейся в ЦНД в первых модификациях турбины К-200–12,8. Устранение выявленных недостатков достигается при использовании двухъярусной вильчатой рабочей лопатки (рис. 1), и установке специальных распределительных решеток. Распределительные решетки позволяют обеспечить равномерный подвод пара к ступени, тем самым увеличить коэффициент скорости сопловой решетки по все длине последних ступеней [1].

Проведенное математическое моделирование течения пара в такой ступени показало, что ЦНД с полуторным выхлопом может иметь эффективность на уровне ЦНД, выполненных с более длинными лопатками в последней ступени мощных паровых турбины.

Литература

1. **Зарянкин А.Е., Черкасов М.А., Крутицкий В.И., Лавырев И.П.** Использование ступени Баумана в цилиндрах низкого давления конденсационных турбин. / Теплоэнергетика. 2019. №9. С 24–31

В.В. Семёнкин, студент; рук. В.М. Супранов, к.т.н., доц.(НИУ «МЭИ»)
рук. Е.В. Сомова, к.т.н., с.н.с (ОАО «ВТИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО КОТЛА П-50Р ПРИ СЖИГАНИИ МАЗУТА

Котел П-50Р (Пп-1050-25-545КГ) производства ЗиО — это двухкорпусной прямоточный котел с промперегревом на сверхкритические параметры пара, работающий в составе энергоблока 330 МВт Каширской ГРЭС. Он был спроектирован и изготовлен для сжигания каменного угля и природного газа в режиме с уравновешенной тягой. Но в последнее время станция не сжигает уголь, ее полностью перевели на сжигание газа. В качестве резервного топлива решено было использовать мазут. Поэтому исследование работы котла на мазуте — актуальная задача.

Сначала ОАО «ВТИ» совместно с Каширской ГРЭС провело опытное сжигание мазута в одном из корпусов котла на нагрузке около 100%. Оно показало, что в принципе котел может сжигать мазут. Поэтому решено было провести расчетное исследование работы П-50Р в полном диапазоне нагрузок, в режимах работы без рециркуляции и с рециркуляцией газов. Для этого была разработана адекватная модель котла (АМК), а для ее настройки использовались экспериментальные данные, полученные во время опытного сжигания мазута. В данном случае удалось хорошо настроить АМК. Из 35 параметров, по которым проводилось сопоставление результатов расчета по модели и опытных данных, только по 7 наблюдалось заметное отклонение.

Исследование работы котла при помощи АМК и расчеты температуры стенки различных поверхностей нагрева позволили установить следующее.

1. Котел может сжигать мазут в полном диапазоне нагрузок в режимах как с рециркуляцией, так и без рециркуляции газов.

2. По температурным условиям тракта высокого давления предпочтительнее режимы работы котла с рециркуляцией. Надежность работы металла труб при этом должна повыситься.

3. Режимы работы с рециркуляцией предпочтительнее и по условиям работы тракта низкого давления, т.к. при этом не возникает проблем с поддержанием нужной температуры пара на выходе из этого тракта.

4. Определены условия работы тягодутьевые машины (ТДМ) в предложенных режимах работы корпуса котла. Показано, что ТДМ могут обеспечить работу котла при сжигании мазута.

Личный вклад автора заключается в обработке экспериментальных и расчетных данных, участии в создании АМК и в проведении расчетов.

К.В. Володина студент; рук. Т.В. Богомолова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ОТ ВЛАЖНОСТИ В ПОСЛЕДНЕЙ СТУПЕНИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ К-1200–6,8/25 ДЛЯ АЭС

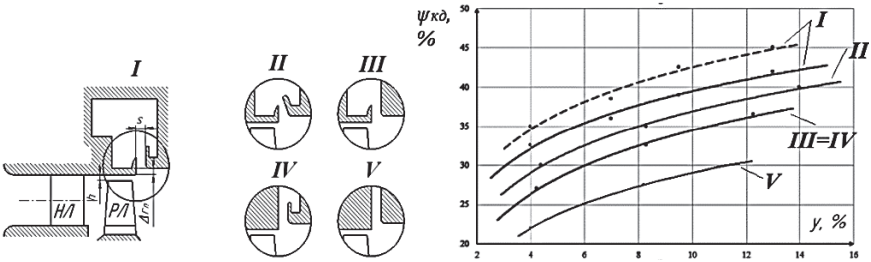


Рис. 1. Модели сепараторов и зависимость коэффициента влагоудаления от степени влажности

Проанализировав 5 моделей сепараторов, можно сделать вывод, что максимальную эффективность имеет модель сепаратора *I* (рис. 1). Капли во влагоулавливающей камере имеют большую окружную скорость и, попав в пленку, стекают в нижнюю половину сепаратора. Так же заметно влияет на коэффициент влагоудаления высота *h* задней стенки влагоотводящего канала. При уменьшении в 2 раза высоты *h* коэффициент $\Psi_{кд}$ возрастает приблизительно на 3% (штриховая линия на рис. 1). [1]

Применим модель *I* сепаратора за РК последней ступени ЦНД паровой турбины К-1200–6,8/25, которая была рассчитана по программе STUP_dl кафедры ПГТ. Потери от влажности в последней ступени ЦНД без сепарации влаги и относительный внутренний КПД ступени:

$$\xi_{вл1} = 2 \cdot X(0,9 \cdot y_0 + 0,35(y_2 - y_0) = 0,139;$$

$$\eta_{o.i1} = \eta_{o.л} - \xi_{тр} - \xi_y - \xi_{вл} = 0,630. \text{ [2]}$$

Коэффициент влагоудаления при использовании модели *I* за РК последней ступени турбины по графику: $\Psi_{кд} = 0,45$ (при $y_2 = 0,141$)

Относительный внутренний КПД ступени при использовании модели *I*:

$$\xi_{вл2} = 2 \cdot X(0,9 \cdot y_0 + 0,35(y_2 \cdot (1 - \psi_{кд}) - y_0) = 0,104; \quad \eta_{o.i2} = 0,665.$$

Из расчета очевидно, что внутренний КПД ступени возрастает на 3,5%.

Литература

1. **Кириллов, И.И.** Основы теории влажнопаровых турбин. Л: Машиностроение, 1968. — 264 с.
2. **Трухний А.Д.** Тихоходные паровые турбины атомных электрических станций: учебное пособие для ВУЗов. М.: Издательский дом МЭИ, 2011–364с.

А.А. Шмелёв, студент; рук. В.М. Супранов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА СЖИГАНИЯ И КОТЕЛ Е-220–9,8-540КТ ДЛЯ ЭКИБАСТУЗСКОГО УГЛЯ

Запасы экибастузского угля (ЭУ) очень велики и поэтому экономичное и экологически безопасное сжигание этого топлива является актуальным для Казахстана и прилегающих регионов России.

ЭУ обладает тугоплавкой золой, поэтому топка должна быть только с твердым шлакоудалением (ТШУ), что лучше и в плане экологических показателей топочного процесса. Из-за высокой зольности (A^r=38%) температура подогрева воздуха должна быть не ниже 340°С, значит котел необходимо укомплектовать двухступенчатым трубчатым воздухоподогревателем.

Этот уголь обладает средней сопротивляемостью размолу ($К_{ло}$=1,35) и довольно высокой реакционной способностью (V^{daf}=30%). Поэтому для его размола годятся молотковые мельницы (ММ), иногда применяют шаровые барабанные мельницы. Топливо не требует тонкого помола, поэтому выбраны ММ как более экономичные и пылесистемы с прямым вдуванием. Поскольку ЭУ относится к 1-ой группе взрывоопасности (не опасный), а влажность его не велика (W^r=7%), то можно использовать воздушную сушку топлива.

Бесшлаковочная работа экранов топки и устойчивое горение топлива на минимальной нагрузке 60% обеспечивается. Это было проверено специальными расчетами. Полурадиационные ширмы и ступени пароперегревателя должны работать в бесшлаковочном режиме, потому что температуры газов перед ними выбирались по рекомендациям регламентирующих документов.

Компоновка котла П-образная, топка призматическая, открытого типа, режим работы — с уравновешенной тягой. Шесть вихревых горелок скомпонованы на фронтовой стене топки в два яруса. Экологические требования удовлетворяются за счет использования внутритопочных мероприятий.

Пароперегреватель котла включает полурадиационные ширмы и конвективные ступени, расположенные в соединительном газоходе. Величина впрысков при работе на номинальной нагрузке составляет 4% от паропроизводительности котла.

Расчетное значение КПД порядка 92,3%, полный расход топлива на котел 36,428 т/ч. Котельная установка может работать в диапазоне 60–100%, как это и требуется при сжигании экибастузского угля с ТШУ.

П.М. Борщ, студ.; рук. В.Г. Грибин, д.т.н., проф. НИУ»МЭИ»

РАСЧЁТ СТУПЕНИ С ПЕРЕМЕННЫМ УГЛОМ ВЫХОДА α1.

В данной работе представлен метод снижения потерь в ступени — применение профилей с переменным углом выхода потока α_1из сопловых решёток. Задачи метода: расчёт потерь в решётках с переменным углом α_1, сравнение решётки с переменным углом α_1 с решёткой из [1], профилирование лопаток с переменным углом α_1.

Рассматриваются две сопловые решётки. Первая — С9015А. Вторая — решётка с переменным по высоте профилем, состоящая из трёх решёток: в корне и на периферии С9009А, а в ядре потока С9022А. Условия сравнения двух решёток: равенство расходов G, располагаемых теплоперепадов H_0 и располагаемых мощностей N_0, одинаковые кромки лопаток, одинаковые углы входа в сопловые решётки α_0 = 90° и одинаковое отношение хорды профиля к высоте лопатки b/l=1,16 для решёток С9009А, С9015А, С9022А.

Для первой из решёток проводится неполностью классический расчёт ступени, частично представленный в табл. 3.4 на с. 111–112 [2], с общим расходом G. Вторая решётка заменяется эквивалентной, состоящей из двух С9009А и С9022А. Расход, приходящийся на С9009А, составляет 10% от общего расхода, на С9022А составляет 90% от общего расхода. Далее производится вышеупомянутый классический расчёт для каждой из решёток С9009А и С9022А в отдельности. В результате расчётов вычисляются коэффициенты потерь для первой (С9015А) и второй (с переменным по высоте профилем) решёток. Эквивалентный коэффициент потерь для второй решётки составил ζ_Σ=2,85%, а коэффициент потерь для С9015А составил $\zeta_{1\Sigma}$=4,82%. Как видно из результатов, потери в решётке с переменным по высоте профилем меньше потерь в С9015А на 1,97%. Также, если на С9009А приходится 20%, а на С9022А 80% общего расхода, эквивалентный коэффициент потерь для решётки с переменным по высоте профилем составит 3,2%. Таким образом разница между коэффициентами потерь первой и второй решёток составит 1,62%.

Вывод: для снижения потерь в ступени рассматриваемый метод эффективен и оправдан.

Литература

1. **Лазарев Л.Я., Степанова Т.Н., Ряховская Н.В., Фадеев В.А.** Геометрические и энергетические характеристики профилей турбинных лопаток постоянного сечения, М.: 2004. — 52 с.
2. **Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д.** Паровые и газовые турбины для электростанций, М.: Издательский дом МЭИ,2008. — 556 с.

Головин А.А., студ.; рук. В.М. Супранов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПАРОГЕНЕРАТОР СО СПИРАЛЬНОЙ НАВИВКОЙ ДЛЯ АЭС С ВВЭР ПАРОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 1600 т/ч

Актуальной задачей, стоящей перед атомной энергетикой, является повышение единичной мощности энергоблоков в сочетании с требованиями увеличения надежности и экономичности основного оборудования АЭС.

Традиционно на АЭС в России используется горизонтальные ПГ для АЭС. Но возможности повышения их паропроизводительности ограничены. Поэтому в данной работе проектировался вертикальный ПГ для АЭС. Главное требование, предъявляемое к ПГ — обеспечение низкой влажности отсепарированного пара. Ухудшение качества пара приводит к отложениям на лопатках турбины и их эрозионному износу, что в свою очередь оказывает непосредственное влияние на КПД турбины, на надежность работы и на тепловую экономичность блока в целом.

В конструкции парогенератора предусмотрены следующие основные решения.

1. Использование двухступенчатой сепарации пара. Первая ступень — осевые сепараторы, вторая — жалюзийные сепараторы. Такой подход позволил обеспечить требуемую влажность пара;

2. Поверхность нагрева в ПГ была выполнена из спиральных труб. Все трубы имеют одинаковую длину и, следовательно, примерно одинаковое гидравлическое сопротивление. Значит и расход греющего теплоносителя во всех трубах одинаковый.

3. В парогенераторе предусмотрен верхний подвод питательной воды, т.е. существует ярко выраженный контур циркуляции.

4. В конструкции ПГ предусматривается устройства непрерывной и периодической продувки.

В результате проделанной работы удалось удовлетворить требования по размерам и массе парогенератора:

— диаметр корпуса не более 4,5 м;

— масса парогенератора не должна превышать 500 т.

Автором выполнены тепловой и компоновочный расчеты ПГ, а также расчет, подтвердивший возможность получения требуемой влажности пара при использовании двухступенчатой схемы сепарации. Кроме того, автором проведены прочностной и гидравлический расчеты парогенератора. По ходу выполнения работы определена оптимальная скорость теплоносителя в трубах, при которой суммарные затраты (капитальные плюс эксплуатационные) являются минимальными.

Полученные габариты ПГ позволяют провезти его по железной дороге.

А.А. Сорунзан, студ.; рук. Д.А. Хохлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СЖИГАНИЯ ПЫЛЕВИДНОГО БИОТОПЛИВА В СТЕСНЁННЫХ УСЛОВИЯХ КАМЕР СГОРАНИЯ

Переход на сжигание биотоплива в настоящее время — одно из решений проблемы «Парникового эффекта» [1]. Выбросы CO_2 при сжигании биотоплива не наносят такой урон окружающей среде, ввиду возобновляемости данного ресурса. Помимо этого, существуют отдалённые объекты промышленности, связанные с разработкой древесины. Отходы этой промышленности, в первую очередь щепа, имеют огромный потенциал для использования в энергетике. Использование низкосортных топлив в качестве топлива для ПГУ является актуальной задачей [2].

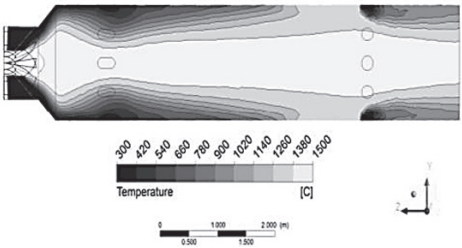


Рис. 1. Температурное поле в КС при сжигании древесной пыли.

В данной работе рассмотрены некоторые аспекты создания энергетической установки с применением биотоплива для выработки электроэнергии на газотурбинной установке (ГТУ), работающей в составе парогазовой установки (ПГУ). В частности, исследуется сжигание пылевидного биотоплива в стеснённых условиях камеры сгорания (КС).

Так в ходе работы было выбрано наилучшее с точки зрения сравнительных характеристик топливо — древесная пыль, являющаяся полуфабрикатом для получения пеллет. [3]. На основе данного выбора была подготовлена модель КС для газовой турбины для проведения расчетов горения в программе ANSYS.

Решение такой задачи существенно расширит возможности по созданию энергетических установок, работающих на биотопливе.

Литература

1. **Ольховский Г.Г., Сучков С.И., Березинец П.А.** Разработка отечественной ПГУ с газификацией угля // Теплоэнергетика. 2010. №2.
2. **Иванов В.Л., Скибин Д.А.** Твердые бытовые отходы как топливо для газотурбинной установки // Вестник ПНИПУ. 2015. Т. 15.
3. **Белосельский Б.С.** Низкосортные энергетические топлива. Особенности подготовки и сжигания. М.: Энергоатомиздат, 1989.

А.С. Акатов, асп.; рук. А.Е. Зарянкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОВОРОТНАЯ ДИАФРАГМА ДЛЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ОТБОРА ПАРА ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН

На теплофикационных турбинах с регулируемым отбором, в которых для регулирования давления пара в камере регулируемого отбора применена осевая регулирующая диафрагма, управляющая перепуском пара в последующие ступени проточный части, существует серьезный недостаток, связанный с возникновением значительной неравномерности поля скоростей за ней. На теплофикационных режимах, при малых открытиях поворотной диафрагмы, пульсация скорости пара перед рабочими лопатками достигает максимальных значений, в 400…500 м/с [1], что отрицательно сказывается на усталостной прочности послеотборных рабочих лопаток их эффективности и вибрации ротора турбины в целом.

В данном докладе представлено конструкторское решение и результаты расчета поворотной диафрагмы, которая позволяет при относительно не больших капитальных затратах, снизить амплитуду пульсации до 30 м/с, при этом не внося дополнительного гидравлического сопротивления в проточную часть.

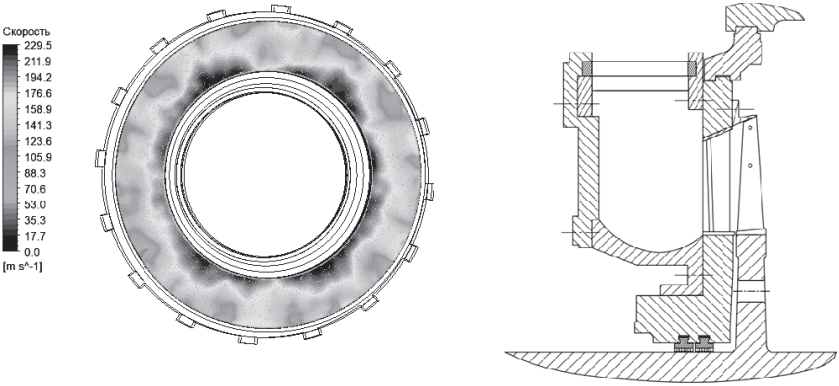


Рис. 1 Конструкция поворотной диафрагмы и профиль скорости перед сопловым аппаратом при 50% открытие.

Литература.

1. **Жинов А.А., Шевелев Д.В., Ильичев В. Ю и др.** Отчет по договору оказания услуг по исследованию режимов работы РЛ и конструкционных решений проточной части ПТ КТЗ ТЭЦ-12-Филиала ПАО «МОСЭНЕРГО». Калуга, 2017.

А.Ю. Макаров., студ., Д.М. Андрианов., студ.;
рук-ли Гаврилов И.Ю., к.т.н., Тищенко В.А., к.т.н (НИУ «МЭИ»)

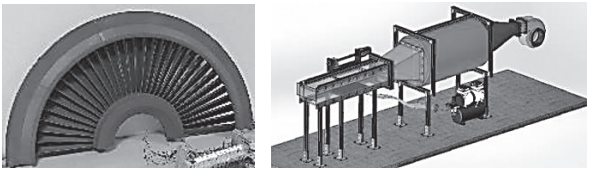
ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТУРБОМАШИН

В настоящее время в производство активно внедряются аддитивные технологии изготовления изделий и их отдельных узлов. Развитие этого направления позволяет реализовать огромный спектр технических задач, в кратчайшие сроки. 3D печать существенно ускоряет процесс проектирования деталей, так как предоставляет возможность быстрого прототипирования изделия для тестирования его эргономических, механических или газодинамических характеристик. Совмещение данной технологии с современными CAD и CAE пакетами видится крайне перспективной в энергетической отрасли, в частности при проектировании и исследовании элементов проточных частей турбомашин.

В настоящей работе представлены результаты применения аддитивных технологий при проектировании отдельных узлов проточных частей паровых и газовых турбин. В рамках выполнения работы, были изучены особенности технологии 3D печати, свойства используемых материалов, а также определены оптимальные настройки.

На рисунке 1а представлена фотография распечатанной на 3D принтере верхней половины диафрагмы последней ступени ЦНД конденсационной паровой турбины. Данный прототип (в масштабе 1/3) используется для проведения гидравлических испытаний системы внутриканального обогрева — сопловые лопатки содержат камеры, объединенные каналами с общей магистралью. При этом было потрачено существенно меньше времени по сравнению с традиционными методами производства.

На рисунке 1б представлен проект экспериментального стенда для исследования процессов охлаждения лопаток газовых турбин. Большинство элементов установки распечатаны с использованием аддитивных технологий. Кроме того, стоит отметить крайнюю гибкость переноса данных о конструкции из CAD пакетов непосредственно на 3D печать.



а) б)

Рис. 1. Модели, изготовленные на 3D принтере: а) диафрагма последней ступени ЦНД; б) экспериментальный стенд

И.Б. Капланович, студ.; рук. В.О. Киндра асс. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ПОЛУЗАКРЫТОГО ЦИКЛА С КИСЛОРОДНЫМ СЖИГАНИЕМ ТОПЛИВА

Загрязнение атмосферы — одна из важнейших проблем 21-го века. Серьезное опасение мирового сообщества вызывает непрерывный рост концентрации углекислого газа, значение которой в 2019 г. превысило 415 ppm.

Более четверти антропогенных выбросов диоксида углерода приходится на энергетический сектор. Снизить их количество можно за счет перехода на кислородно-топливные энергетические комплексы [1]. В частности, широкую известность получил полузакрытый цикл с кислородным сжиганием топлива, к отличительным особенностям которого относятся применение кислорода высокой чистоты в качестве окислителя, двухкомпонентный состав рабочей среды, а также рециркуляция дымовых газов в компрессор. Избыток воды, образующейся при сжигании органического топлива, отделяется от рабочей смеси в охладителе-сепараторе, а избыток диоксида углерода направляется на последующее захоронение.

Для оценки тепловой экономичности полузакрытого цикла с кислородным сжиганием топлива выполнено математическое моделирование тепловой схемы с использованием программного пакета AspenONE. Результаты моделирования при начальных параметрах рабочей среды, равных 1700°С и 7 МПа, а также при давлении на выхлопе газовой турбины, равному 0.1 МПа, позволили установить, что значение КПД нетто данного цикла достигает 47.7% с учетом потерь на охлаждение газовой турбины, производство кислорода и сжатие углекислого газа перед захоронением. Указанный уровень эффективности сопоставим с КПД нетто ПГУ с улавливанием и захоронением диоксида углерода.

Исследование проведено в НИУ «МЭИ» за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-20371 от 28 июля 2017 г.).

Литература

1. **Киндра В.О., Рогалев А.Н., Рогалев Н.Д.** Кислородотопливные технологии производства электроэнергии с нулевыми выбросами вредных веществ в атмосферу // М.: Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2017, с. 110–113.

М.В. Смирнов, студ.; асс. В.О. Киндра (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ЦИКЛА АЛЛАМА

На сегодняшний день около четверти антропогенного углекислого газа производится энергетическим сектором. Снизить его выбросы при производстве электроэнергии и тепла можно за счёт создания кислородно-топливных энергетических комплексов, использующих чистый кислород для сжигания органического топлива.

Широкую известность среди кислородно-топливных циклов получил цикл Аллама, характерной особенностью которого является наличие многопоточного регенеративного теплообменника, полезно утилизирующего теплоту потоков выхлопных газов газовой турбины и горячего сжатого воздуха от воздухоразделительной установки [1].

Для оценки эффективности цикла Аллама произведено математическое моделирование его тепловой схемы с использованием программного пакета AspenONE. Исходными данными для моделирования служили начальная температура и давление рабочей среды, равные 1100°С и 30 МПа, давление рабочей среды на выхлопе турбины, равное 3 МПа, внутренний относительный КПД проточной части турбины и компрессора, равные 90%, минимальная разность температур в точке пинча для многопоточного регенератора, равная 5°С. Результаты расчетов позволили установить, что КПД нетто рассматриваемого кислородно-топливного энергетического комплекса равен 56.3% при учете потерь на охлаждение газовой турбины, затрат энергии на производство кислорода, сжатие диоксида углерода перед захоронением.

Сравнение уровня параметров цикла Аллама и современных парогазовых установок позволяет сделать вывод, что кислородно-топливный энергетический комплекс имеет значительно меньшую температуру и большее давление рабочей среды на входе в турбину. В свою очередь, КПД нетто цикла Аллама при рассмотренных параметрах на 8% больше КПД нетто ПГУ с системой улавливания и захоронения диоксида углерода при начальных температуре и давлении, равных 1600°С и 3 МПа, что вызвано сжатием рабочей среды вблизи линии насыщения углекислого газа и минимальным расходом на охлаждение газовой турбины.

Литература

1. **Киндра В.О., Рогалев А.Н., Рогалев Н.Д.** Кислородотопливные технологии производства электроэнергии с нулевыми выбросами вредных веществ в атмосферу // М.: Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2017, с. 110–113.

И.П. Лавырев, М.А. Черкасов, аспиранты;
рук. А.Е. Зарянкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СОПЛОВОЕ ПАРОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ С ВЫНОСНОЙ КАМЕРОЙ СМЕШЕНИЯ

Как известно, наиболее распространенное сопловое парораспределение имеет более сложную конструкцию, чем альтернативное дроссельное парораспределение, когда все клапаны открываются одновременно [1].

На основании проведенного анализа техническая задача, решаемая разработкой выносной камеры смешения, заключается в том, чтобы сохранить все преимущества соплового парораспределения и полностью ликвидировать его недостатки, повысив тем самым КПД ЧВД на высоких нагрузках турбины на 3–4%.

Предпосылками к решению указанной технической задачи является тот факт, что сейчас практически все регулирующие клапаны, используемые на энергетических турбинах, уже отделены от корпусов турбин и пар к сопловым коробкам подводится по внешним паропроводам. В этой ситуации сохранение сопловых коробок и сохранение регулирующей ступени является необоснованным решением, которое приводит к снижению КПД ЧВД.

В силу сказанного технически обоснованным является решение переноса камеры смешения пара (камеры регулирующей ступени) из проточной части турбины в ее внешнюю часть, прямо соединив ее со всеми внешними регулирующими клапанами, и после смешения подводить свежий пар к первой ступени ЧВД. В этом случае автоматически отпадает необходимость в сопловых коробках и низко экономичных регулирующих ступенях, а подводы пара к ступеням проточной части конструктивно становится идентичен с системой дроссельного парораспределения при сохранение всех преимуществ соплового парораспределения.

В случае практической реализации представленной идеи по сравнению с существующей в настоящее время схемой соплового парораспределения при номинальной мощности турбины предполагается повысить КПД ЧВД на 3–4%. При этом важно отметить, что одновременно с существенным повышением экономичности ЧВД ликвидируются все недостатки соплового парораспределения и соответственно повышается вибрационная надежность турбины.

Литература

1. **Зарянкин А.Е., Симонов Б.П.** Регулирующие и стопорно-регулирующие клапаны паровых турбин. М.: Издательство МЭИ, 2005.

М.А. Черкасов, асп.; И.П. Лавырев, асп.;
рук. А.Е. Зарянкин, д.т.н., проф. НИУ «МЭИ»

К ВОПРОСУ О СУЩЕСТВОВАНИИ МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЫ В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

Рассматривая проблему взаимодействия жидких и газообразных сред с обтекаемыми поверхностями, центральным является вопрос о структуре потока, непосредственно контактирующего с твердыми поверхностями.

Для турбулентного пограничного слоя представление о таком взаимодействии сформировалось в результате теоретического решения задачи о форме профиля скорости, полученного в результате интегрирования известного уравнения Л. Прандтля для напряжения трения в турбулентном пограничном слое.

С целью придания полученному логарифмическому профилю скорости физического смысла была предложена его двухслойная структурная модель, согласно которой со стенкой контактировал ламинарный подслой, а уже над ним имело место развитое турбулентное течение. Однако в [1] отмечается, что в реальном течении сохранить ламинарный подслой нельзя.

В представленных материалах проведен анализ соответствия логарифмического профиля скорости, перестроенного в фиксированной координатной сетке, и показано, что указанный профиль в пристеночной области не соответствует опытным данным и по этой причине на его основе нельзя построить правдоподобную картину взаимодействия потока с обтекаемой поверхностью.

Кроме того, на основе опытных данных [2] показано, что именно пристеночная область пограничного слоя является постоянно действующим генератором турбулентности, что хорошо подтверждается классическими опытными данными Клебанова.

На основании проведенного сопоставления различных точек зрения предложен новый способ расширения углов раскрытия плоских и конических диффузоров, при котором сохраняется безотрывный режим течения в таких каналах.

Литература

1. **Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.** Механика сплошных сред. М.: Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1954.
2. **Шлихтинг Г.** Теория пограничного слоя. М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1974.

А.С. Зонов, асп.; рук. Киндра В.О., асс.

РАЗРАБОТКА ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ НА СВЕРХКРИТИЧЕСКОМ ДИОКСИДЕ УГЛЕРОДА БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

При разработке новых турбомашин необходимо стремиться обеспечивать высокие показатели энергетической эффективности, надежности и низкой стоимости. Последнее можно достичь за счет снижения металлоемкости.

Сегодня возрастает интерес к разработке кислородно-топливных энергетических комплексов с нулевыми выбросами вредных веществ и парниковых газов в атмосферу. Основным компонентом рабочей среды подобных термодинамических циклов является сверхкритический диоксид углерода [1]. Давление на входе в турбину составляет примерно 30 МПа, а давление на выхлопе — 3 МПа. Турбомашина, работающая в составе кислородно-топливного энергоблока, обладает малыми радиальными размерами, так как плотность углекислого газа при подобных параметрах сопоставима с плотностью пара в цилиндре высокого давления паровой турбины.

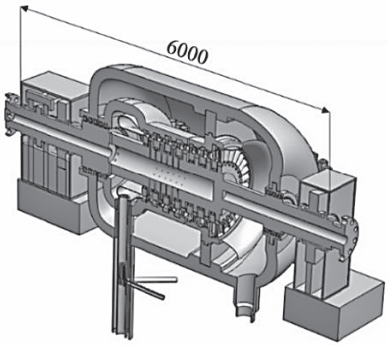


Рис. 1. Диоксид углеродная турбина для кислородно-топливного цикла

Разработанная конструкция углекислотной семиступенчатой турбины мощностью 300 МВт, представленная на рис. 1, характеризуется постоянным корневым диаметром, равным 0,81 м, и высотой лопаток, изменяемой от 42 до 170 мм. Установлено, что масса подобной турбины составляет примерно 100 тон, а длинна — 6 метров. По сравнению с паровой турбиной К-300–240 углекислотная турбомашина в 6,9 раз легче и в 3,6 раза короче.

Исследование проведено в НИУ «МЭИ» за счет гранта РНФ (проект №17-79-20371).

Литература

1. **Рогалев А.Н., Рогалев Н.Д., Киндра В.О., Зонов А.С., Махмутов Б.А.** Исследование экологически безопасных энергетических комплексов с кислородным сжиганием топлива // Новое в российской электроэнергетике. 2019. №8.

А.С. Красичков, студ.:рук. В.Д. Буров, к.т.н., проф. (НИУ МЭИ)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОДОГРЕВА ТОПЛИВА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПГУ

Подогрев топлива на ГТУ повышает ее тепловую экономичность [1]. Современные фирмы поставляющие газотурбинные установки предоставляют такую опцию. Когда речь идет о ПГУ влияние подогрева топлива на технико-экономические показатели энергоблока до конца не исследованы. В работе произведена оценка влияние подогрева топлива на технико-экономические показатели блока ПГУ 400 МВт. Проведен расчет тепловых схем для двух вариантов подачи газа в КС ГТУ (при подводе магистрального газа высокого давления и при подводе газа после дожимного компрессора) для них проведен расчет подогрева топлива в теплообменнике (отбором пара с экономайзера контура высокого давления и отбором пара с экономайзера контура среднего давления). Некоторые полученные результаты исследования приведены в виде сводной таблице ниже.

Табл. 1. Мощность ПГУ в зависимости от выбранной схемы.

Параметр	Размерность	Исследуемая схема			
		Без ДК, отбор из контура ВД	С ДК, отбор из контура ВД	Без ДК, отбор из контура СД	С ДК, отбор из контура СД
Мощность ПГУ (брутто)	kW	395 823	396 369	395 760	396 220
Мощность ПГУ (нетто)	kW	384 796	382 911	384 770	382 791

Литература

1. **Цанев С.В., Буров В.Д., Земцов А.С., Осыка А.С.,** Газотурбинные энергетические установки; под ред. Цанева С. В — М.: Издательский дом МЭИ, 2011. — 428 с., ил.
2. **Трухний А.Д.** Парогазовые установки электростанций: учебник для вузов / А.Д. Трухний. — М.: Издательский дом МЭИ, 2017. — 675 с., ил.

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ МАЛОГО $U/C_Ф$

Исследуется лопатка с профилем, предназначенным для работы в ступенях с малым $u/c_ф$. Для исследования распределения давлений по профилю использовалась проточная часть, позволяющая скомпоновать плоский пакет из 6 лопаток. Исследуемый канал располагается между 3 и 4 лопатками. Исследование распределения давлений по обводам канала осуществлялось посредством U-образного дифференциального водяного манометра. Схема расположения отверстий для измерения статического давления представлена на рисунке 1. Полное давление рабочего тела измерялось перед проточной частью в баке ресивере. Измерения проводились для различных начальных давлений P_0. Построены графики распределения давления в относительных величинах, где *p* это отношение избыточного давления в рассматриваемой точке к динамической составляющей полного давления в ресивере, *s* — относительная координата на поверхности профиля с 1 на входной кромке, отрицательными значениями координаты на выгнутой поверхности, и положительными на вогнутой. На графиках видно, что на «спинке» профиля в области расширения в косом срезе существует зона повышенного давления, характерная для отрывного течения.

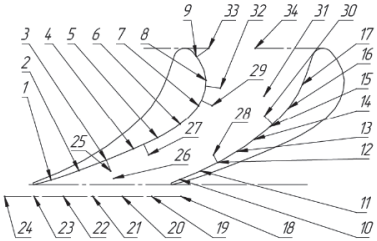


Рис. 1. Схема расположения дренажных

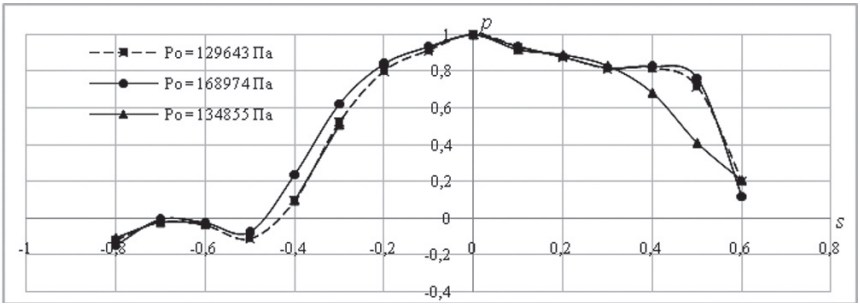


Рис. 2. График распределения давления на поверхности исследуемого профиля

Литература

1. **Горлин С.М.** Экспериментальная аэромеханика. учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа. 1970.

П.М. Нестеров, студент; рук. О.М. Митрохова, к.т.н., доц.(НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ТВЕРДОТОПЛИВНОЙ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

Одним из основных недостатков газотурбинных установок (ГТУ) является невозможность использования в них низкосортных топлив [1]. Однако в настоящее время имеется несколько десятков ГТУ преимущественно экспериментальных, работающих на твердом топливе.

Среди основных направлений использования твердых сортов топлив в ГТУ можно выделить следующие: 1) газификация твердого топлива в газогенераторе; 2) использование ГТУ закрытого цикла, когда рабочим телом газовой турбины служит горячий воздух; 3) использование выносной камеры сгорания (КС) с топочными устройствами вихревого циклонного типа и последующей очисткой продуктов сгорания.

В последнем случае, при сжигании твердого топлива в КС, одной из важных задач является очистка продуктов сгорания от твердых примесей.

На сегодняшнее время существует большое количество различного рода устройств для очистки газов от взвешенных в них частиц.

Очевидно, что не менее важной задачей является применение специальных защитных мер для уменьшения износа, как при проектировании, так и в процессе эксплуатации газовой турбины (ГТ).

В последнее время, достигнут существенный прогресс в области численного моделирования турбулентных двухфазных течений, поэтому разработка и применение данных методов при проектировании проточной части газовой турбины является весьма актуальной. На рисунке 1 представлены некоторые результаты численного моделирования течения потока в проточной части, разработанной газовой турбины.

Рис. 1. Результаты численного исследования течения газа в проточной части ГТ

Литература

1. **Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д.** Паровые и газовые турбины для электростанций. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — 557 с.

Г.К. Плютинский, студ.; К.А. Плешанов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОНТУРА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ КОТЛОВ-УТИЛИЗАТОРОВ ПГУ

На сегодняшний день актуально исследование контуров низкого давления [1] энергетических объектов. Это вызвано важной проблемой в котлостроении: в источнике [2] не приведен метод расчета для циркуляционных контуров с давлением меньше 10 атм. До недавнего времени эта проблема не была так актуальна, так как лишь недавно начали массово вводить блоки ПГУ, в которых котел утилизатор имел отдельный контур низкого давления, в котором давление меньше, чем 10 атмосфер. Это привело к созданию нескольких методик расчета параметров циркуляции при низком давлении рабочей среды ведущими теплотехническими институтами России (ВТИ, ЦКТИ, МЭИ). Также существует иностранная методика VDI, являющаяся слишком сложной для практического применения и нуждающаяся в проверке.

Основная проблема заключается в отличиях подхода к приближению результатов расчета параметров контура циркуляции и опытных данных, полученных на экспериментальных стендах институтов. Напорное паросодержание, напор застоя, напор опрокидывания — все эти параметры в разных методиках рассчитываются по разным методам: от поправочных коэффициентов для источника [2], призванных приблизить результат к опытным данным, до полного пересмотра метода расчета. Поэтому взяв за основу работы [1,3], а также опытные данные с измерением расхода среды в контуре низкого давления нескольких котлов — утилизаторов: П-107 (ТЭЦ-27), ПК-74 (ТЭЦ-12), П-132 (Киришская ГРЭС), П-133 (ТЭЦ-26), ЭМА-018-КУ, были исследованы контуры циркуляции вертикальных и горизонтальных котлов — утилизаторов. На основе результатов данного исследования был выбран один из методов как наиболее оптимальный или по результату, полученному в ходе исследования, или по удобности применения на практике.

Литература:

1. **Беляков И.И., Бреус В.И., Попов М.С.** Анализ гидравлических режимов вертикальных котлов-утилизаторов парогазовых установок. Тепловые электростанции — 2015 — №5. С. 12–18.
2. **Локшин В.А., Петерсон Д.Ф., Шварц А.Л.** Гидравлический расчет котельных агрегатов (Нормативный метод). Энергия. 1978 г.
3. **Росляков П.В., Плешанов К.А., Стерхов К.В.** Исследование естественной циркуляции в испарителе котла-утилизатора с горизонтальными трубами. Теплоэнергетика. — 2014. — №7. — С. 3–10.

А.Д. Водениктов соиск., А.А. Гаевая, студ.;
рук. А.И. Минибаев асс. (КГЭУ, Казань)

К ВОПРОСУ О КОМПОНОВКАХ ДЕАЭРИРУЮЩИХ КОНДЕНСАЦИОННЫХ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Конденсатор паровой турбины используется для отработавшего пара, обеспечивая, тем самым, высокий термический КПД паротурбинной установки. Существующие конденсаторы поддерживают глубокий вакуум (до 97%), обеспечивая рост располагаемого теплоперепада и как следствие — рост мощности и экономичности. [Лосев]

Одним из показателей, характеризующим эффективность работы конденсатора, и всей вакуумной системы в целом, является концентрация кислорода в основном конденсате. Показатель регламентирован правилами технической эксплуатации-не более 20 мкг/л. [Бродов] В ходе анализа работы электростанций, было выявлено, что оперативный персонал электростанции часто сталкивается, с превышением концентрации растворенного кислорода в основном конденсате, особенно при работе турбины на переменных режимах. Это чревато ростом скорости коррозии тракта регенерации низкого давления и выходом оборудования из строя.

Все вышеперечисленное говорит о том, что снижение концентрации кислорода является актуальной задачей.

Для борьбы с повышенным содержания кислорода существует широкий спектр как организационных, так и конструкторских мер. Одним из таких решений, является использование деаэрирующих конденсатосборников. Конструкторское исполнение и принцип их работы весьма вариативны, однако, в большинстве случаев, предлагаемые решения объединяет сложность в изготовлении и обслуживании.

Авторами предлагается использование деаэрирующей вставки в конденсатор паровой турбины для снижения концентрации растворенного кислорода. Было проведено испытание модернизированного конденсатосборника, в ходе которого отмечено снижение концентрации кислорода, в среднем, в 2 раза. Предлагаемую конструкцию возможно использовать для широкого модельного ряда паровых турбин, как отечественных, так и зарубежных производителей.

Однако, в настоящее время вопрос об оптимальном режиме работы и конструкторском исполнении парораспределительного коллектора остается открытым.

Литература

1. **Лосев С.М.** Паровые турбины. Госстройиздат, 1959. — 384 с.
2. **Бродов Ю.М., Савельев Р.З.** Конденсационные установки паровых турбин. Учебн. пособие для вузов, М.: Энергоатомиздат, 1994–288с. ил. ISBN 5-283-00162-8

В.А. Акилин, студ.; рук. К.В. Стерхов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСЧЕТА КОЛЛЕКТОРНОГО ЭФФЕКТА ПРИ РАДИАЛЬНОМ ПОДВОДЕ СРЕДЫ В АКТИВНУЮ ЗОНУ

В котельных установках применяют коллекторы, раздающие среду по трубам поверхностей нагрева и собирающие ее из них. Часть коллектора, в которую вводится или из которой отводится среда, называется активной зоной. Особенности коллекторных схем определяются видом подводов и отводов пара к коллекторам. По расположению подводящих и отводящих труб коллекторы называются с «радиальным» и с «торцевым» подводом.

Первостепенной задачей является уточнение расчета коллекторного эффекта при радиальном подводе среды в активную зону под углом 180° благодаря использованию программного обеспечения и компьютерной модели. Исследование затрагивает вопросы, связанные с более наглядным представлением нестабильной области, которая размещается в районе, прилегающим по длине коллектора пароподводящих труб. Она характеризуется возникновением вихревых потоков движения пара с различным распределением давления по периметру коллектора, в результате чего в этой зоне коллектора создается «пик» давления напротив места ввода потока, а по обеим сторонам от него имеются «провалы» [1]. От разной области подачи и вывода среды из коллекторов зависит большой ряд параметров. В работе рассматривались такие параметры как коэффициент гидравлической разверки и расход среды в каждой из труб.

Объектом исследования является коллекторная сборка, состоящая из раздающего и собирающего коллекторов с внутренним диаметром 103 мм и длиной 1680 мм, 20 труб длиной 10 м с внутренним диаметром 31 мм.

Исследования включают аналитический способ определения зависимости перепада давления и расхода среды в трубах от способа ввода среды [1]. Следующим этапом исследования является моделирование в ANSYS. В работе рассматриваются варианты торцевого подвода и отвода среды, радиальный подвод с углом 90° с торцевым отводом. Задачей данного этапа исследования является отладка компьютерной модели. На основании полученных результатов проводится уточнение расчета гидравлической разверки для варианта с радиальным подводом среды под углом 180° и торцевым отводом с учетом положения подводящей трубы по отношению к трубам сборки.

Литература

1. **Локшин В.А., Петерсон Д.Ф., Шварц А.Л.,** Гидравлический расчет котельных агрегатов, Москва, «Энергия», 1978

А.Р. Галин студент; рук. В.В. Попов, к.тн., ст. преп. («НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОДНОСТУПЕНЧАТОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА МИКРО-ГТУ

В настоящее время повышается актуальность проблемы автономной генерации электрической энергии в труднодоступных и малонаселённых районах нашей страны. Решение этого вопроса заключается в необходимости создания энергетических установок малой мощности отечественного производства. Наиболее перспективными в этом направлении являются микро-ГТУ, отличительными чертами которых являются: компактность, надёжность, широкий спектр используемых в цикле видов топлива, простота эксплуатации, большой межремонтный период, низкий уровень выбросов и возможность работать без смазочных материалов [1, 2].

Теория и термогазодинамический расчёт радиальных, радиально-осевых и диагональных газовых турбин, широко используемых в энергетических микро-ГТУ подробно изложены в [2]. В то же время проблематике проектирования компрессоров для подобных энергетических установок посвящено достаточно мало работ. Создание установок для выработки электроэнергии на основе микро-ГТУ требует проработки вопросов проектирования центробежных компрессоров, применяемых в данном типе турбомашин.

Теория и термогазодинамический расчёт центробежных компрессоров рассмотрены в [3] на примере авиационного турбокомпрессора. Существуют так же рекомендации по проектированию и профилированию рабочих колёс и выхлопных патрубков подобных турбомашин [3].

В настоящей работе проведено проектирование одноступенчатого центробежного компрессора энергетической микро-ГТУ. В основу принципа проектирования положены имеющиеся данные по разработке авиационных турбокомпрессоров центробежного типа [3]. В результате получены основные режимные и геометрические характеристики рабочего колеса центробежного компрессора и построена его 3D модель.

Литература

1. **Махмутов Б.А., Попов В.В., Комаров И.И.** Разработка утилизационной микро-ГТУ, работающей на генераторном газе // Энергетика. Технологии будущего: НТК. Тез. докл., Москва: Издательсто МЭИ, 2019, с. 47.
2. **Шерстюк А.Н., Зарянкин А.Е.** Радиально-осевые турбины малой мощности. Москва: Машиностроение, 1976, 207 с.
3. **Белоусов А.Н., Мусаткин Н.Ф., Радько В.М., Кузьмичёв В.С.** Проектный термогазодинамический расчёт основных параметров авиационных лопаточных машин. СГАУ, Самара, 2006, 316 с.

Секция 50.
ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ, НАДЕЖНОСТИ И КОНСТРУИРОВАНИЯ

Председатель секции — Кузнецов Сергей Федорович
Секретарь секции — Шипков Андрей Анатольевич

Н. Абусейф, асп.; рук. В.М. Матюнин, д. т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)

ОЦЕНКА УПРУГОЙ ПОДАТЛИВОСТИ ТВЕРДОМЕРА ПРИ КИНЕТИЧЕСКОМ ИНДЕНТИРОВАНИИ МАТЕРИАЛОВ

Кинетическое индентирование как сравнительно новый вид механических испытаний всё шире используется в контроле механических свойств материалов. Под кинетическим индентированием понимается процесс, при котором происходит внедрение индентора в испытуемый материал под действием плавно возрастающей нагрузки с последующим её снятием и регистрацией диаграмм вдавливания в координатах «нагрузка — перемещение индентора». При вдавливании шара, необходимо учитывать упругую податливость прибора, которая проявляется в увеличении регистрируемых значений перемещения индентора за счёт дополнительных упругих деформаций узлов прибора. От методики оценки и учёта упругой податливости прибора особенно в сильной мере зависят определяемые значения модуля нормальной упругости испытуемых материалов.

В связи с этим авторы настоящей работы предложили новую методику оценки упругой податливости прибора, основанную на уравнении Г. Герца для случая упругого контакта шара с плоскостью. В качестве испытуемого материала была взята образцовая плитка с твёрдостью 470 *HV10*. Кинетическое индентирование выполнялось шарами с диаметрами *D*, равными 30,17 мм, 15,04 мм и 10 мм. Материал шаров — сталь ШХ20СГ. Индентирование выполнялось на универсальной машине Instron 5982, переоборудованной для испытаний вдавливанием в режиме сжатия. Максимальные нагрузки вдавливания, до которых индентирование каждого шара происходило в упругой области, были установлены при условии совпадения линий нагружения и полной разгрузки диаграммы. Для каждой диаграммы вдавливания в 10–15 точках определяли нагрузку F и перемещение индентора α_0'. Затем для каждого значения F рассчитывали упругое сближение α_0 по формуле Г. Герца [1]:

$$\alpha_0 = \left[\frac{9F^2}{16\,R}\left(\frac{1-\vartheta_{\text{М}}^2}{E_M} + \frac{1-\vartheta_{\text{Ш}}^2}{E_{\text{Ш}}}\right)^2\right]^{1/3}.$$

где R — радиус шара, $\nu_{\text{М}}$ и $\nu_{\text{Ш}}$ — коэффициенты Пуассона испытуемого материала и материала шара соответственно, $E_{\text{М}}$, $E_{\text{Ш}}$ – модули нормальной упругости испытуемого материала и материала шара.

Располагая значениями α_0' и α_0 при каждой нагрузке F, можно было рассчитать $\Delta\alpha = \alpha_0' - \alpha_0$ и установить её связь с F.

Литература

1. **Hertz H.** Uber die Beruhrung fester elastischer Korper und uber die Harte // Verhandlungen des Vereinis zur Beforderung des Gewerbefliefses. Berlin, 1882. P. 174–195.

К.Т. Бородавкина, студ.; рук. Е.В. Терентьев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РАЗНОРОДНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛИ ЭП517 И СПЛАВА 36НХТЮ

Низкая прочность разнородных сварных соединений из стали ЭП517 и сплава 36НХТЮ обусловлена низкой твердостью металла шва, повышение которой может быть достигнуто при последующей термической обработке [1]. В рамках данной работы предложено оценить влияние параметров термической обработки на твердость металла шва.

Для экспериментов были использованы образцы сварных соединений, вырезанные из макета бандажа, изготовленного по описанной в работе [1] технологии. Термообработку реализовывали в муфельных печах при температурах нагрева 600 °С, 650 °С, 700 °С, 750 °С и времени выдержки от 7.5 минут до 64 часов. Измерения твердости металла шва проводились на твердомере по методу Виккерса при нагрузке 5 кГ и выдержке под нагрузкой 10 секунд. Результаты измерений представлены в виде кривых старения (рис. 1).

Анализ кривых старения показывает, что максимальная твердость металла шва может быть достигнута при следующих параметрах старения: 16 часов выдержки при температуре нагрева 700 °С или 32 часа выдержки при 650 °С. При этом твердость металла шва повышается на 36% (60 HV) относительно твердости металла шва после сварки.

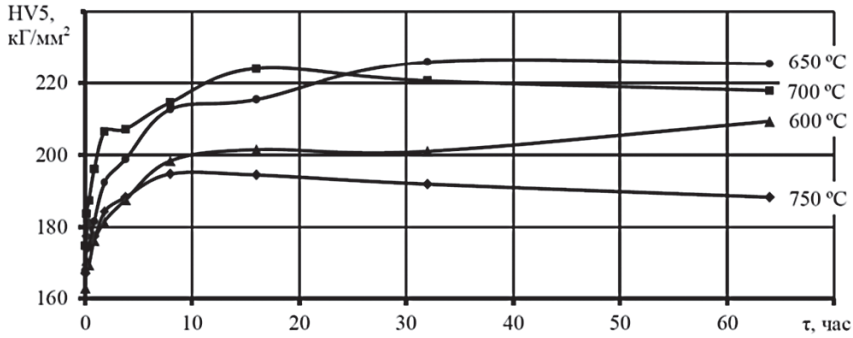


Рис. 1. Кривые старения металла шва разнородных сварных соединений стали ЭП517 со сплавом 36НХТЮ

Литература

1. **Терентьев Е.В., Марченков А.Ю., Гончаров А.Л., Слива А.П.** Повышение конструкционной прочности разнородных сварных соединений сплава 36НХТЮ и стали ЭП517 за счет оптимизации геометрических параметров шва // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2018. Т. 20. №3.

Г.Д. Евреинова, В.А. Богатырёв, студ.;
рук. В.Н. Щугорев, к.т.н., доц, (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЛОГАРИФМИЧЕСКОГО КОЭФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ БАЛКИ ИЗ СЛОИСТОГО КОМПОЗИТА

В технике все большее применение находят композиционные материалы, имеющие слоистую структуру [1]. Небольшая удельная масса, хорошие прочностные характеристики и стойкость к воздействиям окружающей среды — все эти преимущества имеют композиционные материалы над изотропными.

При изготовлении элементов конструкций в машиностроении в настоящее время используются различные типы таких материалов, которые требуют исследования их поведения при вибрациях. Например, изоляторы (в виде композитных балок) в распределительных шкафах электрооборудования, находящихся в вибрационной зоне вблизи генераторов и т.д.

В работе рассматривается композитная балка (упрощенная модель электроизоляционного элемента), для которой применимо уравнение свободных колебаний, рассмотренное подробно в [2].

В реальных системах колебания всегда сопровождаются рассеянием энергии; величина полной механической энергии уменьшается, и колебания носят затухающий характер. Для оценки затухания используют логарифмический декремент, который определяется как натуральный логарифм отношения двух последовательных амплитуд.

Экспериментальный анализ колебательного процесса проведен по аудиофайлу [3], который записан с помощью высокочувствительного радиомикрофона Sony. Полученный файл был обработан в звуковом редакторе, где были сняты последовательные амплитуды колебательного процесса.

Верификация данного метода была проведена с помощью аналитического расчета. Такая оценка логарифмического декремента затухания позволяет прогнозировать колебательные процессы конструкционных элементов из композитов в энергомашиностроении.

Литература

1. **Полилов А.Н.** Экспериментальная механика композитов. М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015.
2. **Болотин В.В.** Вибрации в технике: Колебания линейных систем. М: Машиностроение, 1978. Т. 1.
3. **Щугорев В.Н.** Применение звукорегистрирующей аппаратуры для оценки частот собственных колебаний композитной балки. Тр. 32-й сессии Российского акустического общества, 2019.

А.В. Подлегаева, Л.С. Сапунова, студ.;
рук. В.Н. Щугорев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ КОМПОЗИТНОЙ БАЛКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ВИДЕО И АУДИО РЕГИСТРАЦИИ

Композиционные материалы имеют широкое применение в энергомашиностроении, благодаря высоким механическим свойствам. Примером являются изоляторные балки, вблизи электрогенерирующих аппаратов, с расположенными на них контактными группами, подвергающиеся вибрационному воздействию [1]. В связи с этим актуальной становится экспериментальная оценка, как физических свойств композитов, так и собственных частот и форм колебаний конструкций, что необходимо для отстройки от резонансов.

Целью работы являлась экспериментальная оценка частот свободных колебаний, с использованием скоростной видео- и аудио- регистрации. Однако процесс регистрации колебаний конструкций требует применения специальных устройств [2], т.к. данный процесс протекает со скоростью, которая не может быть зафиксирована глазами человека. В работе проводилось исследование процесса колебаний консольно закрепленной балки из слоистого композиционного материала. Балка подвергалась «жесткому» нагружению прогибом на незакрепленном краю. Процесс колебаний фиксировался с помощью высокоскоростной видеокамеры, с частотой 1000 кадров в секунду. Обработка полученного видеоматериала позволила оценить форму и частоту свободных колебаний. Звуковые колебания записывались высокочувствительным радиомикрофоном, расположенным в непосредственной близости от балки [3]. Цифровая обработка аудиофайла звуковых колебаний, проведенная в аудиоредакторе дала оценку частот колебаний композитной балки.

При сопоставлении теоретических [1] и экспериментальных результатов, получили совпадение порядков частот и вида форм колебаний исследуемой балки.

Литература

1. **Bolotin Vladimir V.** Stability problems in facture mechanics. — John Willey & Sons, Inc. — 1996.
2. **Мурзаханов Г.Х., Щугорев В.Н., Щугорев А.В., Цой В.Е.** Использование скоростных Action видеокамер для регистрации быстро протекающих механических процессов//ВЕСТНИК РАЕН. 2018Т. 18.№2.
3. **Щугорев В.Н.** Применение звукорегистрирующей аппаратуры для оценки частот собственных колебаний композитной балки. Тр. 32-й сессии Российского акустического общества. — 2019.

N. Abusaif, grad student; Dr. prof. V.M. Matyunin (MPEI, Moscow)

EVALUATION OF METAL HARDNESS AT ELASTIC LIMIT BY BALL INSTRUMENTED INDENTATION

Metal hardness at elastic limit $(HB_t)_e$ characterizes the pressure in the center of the contact surface when the elastic limit is reached. G. Hertz called this hardness «absolute hardness», which has an advantage over other hardness characteristics, since it is a property of solids in the initial state. However, the evaluation of $(HB_t)_e$ by measuring the elastic indent dimensions is rather difficult. Therefore, in this paper we propose a method for determining $(HB_t)_e$ using instrumented indentation diagram «Brinell hardness HB_t — relative indentation depth t/R», which is obtained with a ball indenter in the elastic and plastic deformation regions [1].

Elastic region of the indentation diagram can be described by the following equation, based on the theoretical dependence of the indentation load F on the elastic displacement α_0 established by H. Hertz:

$$\mathrm{HB}_t = B(t/R)^{0.5}, \quad (1)$$

where ; ;

$$\mathrm{B} = \frac{\alpha_0}{2\pi R^{0.5}\gamma^{1.5}}; \quad \alpha_0 = \frac{4\,R^{0.5}}{3\left[\frac{(1-\vartheta_{\text{М}}^3}{\text{E}_{\text{М}}} + \frac{(1-\vartheta_{\text{И}}^3}{\text{E}_{\text{И}}}\right]};$$

R is the indenter radius, νm and νi are the Poisson ratios, Em, Ei are the elastic moduli of the tested material and the indenter; $\gamma = E_i/(E_i + E_m)$; $t = \gamma(\alpha_0/2)$.

The subsequent elastoplastic region of the indentation diagram can be described by a power equation [2]:

$$HB_t = C(t/R)^{n-1}, \quad (2)$$

where $C = aR^{n-2} / 2\pi$; a and n are the coefficients included in the power dependence $F = a\,t^n$.

In the joint solution of equations (1) and (2), the following equation was obtained for evaluation the hardness at elastic limit (HBt)e:

$$(\mathrm{HB}_t)_e = \frac{\alpha_0^{\frac{n-1}{n-1.5}}}{2\pi\, a^{\frac{0.5}{n-1.5}}\, \gamma^{\frac{1.5(n-1)}{n-1.5}}} \cdot \quad (3)$$

The experiments were carried out to determine $(\mathrm{HB}_t)_e$ for steels, aluminum and titanium alloys on an automated device MPEI-TA. The values of hardness at elastic limit $(\mathrm{HB}_t)_e$ make it more reasonable to establish its relationship with the elastic limit of these materials.

References

1. **Zaitsev G.P.** Hertz research and Brinell test // Journal of Technical Physics. 1949. Vol. 19. No. 3.
2. **Matyunin V.M.** Indentation as the materials mechanical properties diagnostics method. M.: MPEI, 2015.

D.A. Zhgut, stud.; M.V. Goryachkina, postgrad. stud.;
supervisor A.Yu. Marchenkov, ascoc. prof. (NRU «MPEI»)

INDENTATION AS A METHOD TO DETERMINE MACROHARDNESS OF HARD THIN COATINGS

Currently, one of the most promising methods to obtain power engineering items with required service properties is to use coatings. The active development of coating technologies, in turn, needs to make an improvement to existing methods for determining their mechanical properties. At the same time, many papers are devoted to the study of scale effect during mechanical testing, for example the Indentation Size Effect (ISE) that occurs at indentation hardness tests. The ISE is a decrease of hardness with increasing indentation load.

The possibilities of hardness methods to study small-sized items mechanical properties are very limited. For thin coatings, it is possible to determine only micro- or nanohardness by indenting with small indentation loads. Unfortunately, these characteristics cannot provide much information of the material resistance to deformation and fracture at the macroscale. Moreover, if macroindentation tests are carried out with high indentation loads, the indenter will force through the coating and the hardness value will be distorted by the influence of the substrate material.

The paper [1] shows the Vickers hardness HV related to the indent diagonal with decreasing indentation load. Also it presents the plot Brinell hardness HB versus indent diameter. Based on the information, a new method was proposed for determining the microhardness of hard thin coatings by its micro- and nanohardness estimated values under different loads.

In this paper, the samples with TiN-based coatings with a thickness of 7 to 24 μm were prepared and researched. Tests were carried out by micro- and nanoindentation under various loads. On the basis of the data obtained the possibility of determining the coatings macrohardness was shown.

Finally, the prospect of the received results is the possibility to determine the strength characteristics of hard thin coatings from the macrohardness values, for instance, their ultimate strength. It will also allow to carry out strength calculations of items with coatings more reasonably.

References

1. **Matyunin V.M., Dubov A.A., Marchenkov A.Yu.** The scale factor in determining the hardness of metallic materials. Factory laboratory. Diagnostics of materials No. 9. 2009. Vol. 75.

Л.С. Сапунова, А.А. Житков, студ.;
рук. В.Н. Щугорев, к.т.н., доц, (НИУ «МЭИ»)

ПОВЕДЕНИЕ СЛОИСТОЙ БАЛКИ ПРИ НИЗКОСКОРОСТНОМ УДАРЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ И МАССЫ УДАРНИКА

В настоящее время энергомашиностроение все больше отходит от использования классических материалов, заменяя их различными слоистыми и волокнистыми композитами. В отличие от изотропных материалов, механические свойства композиционных материалов (ортотропных, анизотропных) ведут себя иначе [1], т.е. имеют различные значения модуля Юнга в разных направлениях. Широкое использование низкопотенциального тепла (например, тепловые насосы) делает возможным применение композиционных материалов. Балочный элемент является одним из самых распространенных, это и элементы трубопроводов, и лопатки вентиляторов гидротурбин и турбин, работающих с использованием низкокипящих жидкостей.

В работе определяется поведение шарнирно опертой композитной балки на ударное центральное низкоскоростное воздействие. Авторами был поставлен натурный эксперимент, где шарнирно опертая балка нагружалась падающим ударником сферической формы.

В изучении реакции композитных материалов на низкоскоростной удар рассматривают три основных этапа, которые были ранее изложены в [2]. В отличие от полубесконечного пространства, балка обладает характеристическими размерами, два из которых много меньше длины балочного элемента. Соответственно прогиб и деформация существеннее, что и требует детального исследования колебаний.

Полученные результаты помогают лучше понять физику и поведение слоистых материалов при низкоскоростном ударе. Процесс нагружения и исследования реакции композитов на ударное воздействие падающим грузом, фиксировался скоростной камерой по методике, изложенной в [3]. Результаты экспериментов сравниваются с аналитическим решением.

Литература

1. **Болотин В.В.** Вибрации в технике: Т. 1. Колебания линейных систем. М.: Машиностроение — 1978.
2. **Касаткин А.В., Никишин В.И.** Поведение ортотропного полупространства при динамическом контактном нагружении // Тез. докл. XXIV-ой МНТК студ. и асп. (14–15 марта 2019 г., Москва) — М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2019.
3. **Щугорев В.Н.** Применение звукорегистрирующей аппаратуры для оценки частот собственных колебаний композитной балки. Тр. 32-й сессии Российского акустического общества. — 2019.

Е.И. Гераськин, асп.; рук. В.М. Матюнин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ХЛАДОСТОЙКОСТИ СТАЛИ ПО НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМУ ИЗМЕНЕНИЮ ТВЁРДОСТИ

Существуют различные методики определения критической температуры хрупкости $T_к$, характеризующей хладостойкость материала. Однако эти методики отличаются высокими трудо- и материалозатратами.

Для упрощения оценки хладостойкости были проведены низкотемпературные испытания различных марок сталей кинетическим индентированием с регистрацией диаграмм вдавливания сферическим индентором при постепенном снижении температуры от 293К до 173К. По диаграммам вдавливания определены значения кинетической твёрдости HB_t при различных температурах и получены графики зависимости HB_t от Т. На рис. 1 представлены данные зависимости для стали 10 и стали 45.

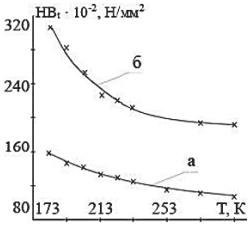


Рис. 1. Изменение HBt для стали 10 (а) и стали 45 (б).

Представленные зависимости можно аппроксимировать степенным уравнением [1]:

$$HB_t = AT^{-b} \quad (1)$$

где b и А — коэффициенты, характерные для данного материала.

Для оценки хладостойкости стали предлагается параметр γ, равный отношению $(HB_t)_{отр}$ при отрицательной температуре $T_{отр}$ к $(HB_t)_{ком}$ при комнатной температуре $T_{ком}$. Как показали эксперименты, чем выше параметр γ, тем ниже хладостойкость стали (табл 1.)

Табл. 1. Значение твёрдости HB_t и параметров γ, b и А сталей при температурах $T_{ком}$ = 293К и $T_{отр}$ = 223К

Марка стали	(HBt) ком Н/мм²	(HBt) отр Н/мм²	γ	b	A·10⁵ Н/мм²·К-b
Сталь 10	1039	1309	1,26	0,85	1,285
12Х1МФ	1446	1643	1,14	0,47	0,207
15ГС	1505	1759	1,17	0,57	0,386
Сталь 35	1666	1887	1,13	0,46	0,223
Сталь 45	1910	2336	1,22	0,74	1,258
30ХГСА	2392	2661	1,11	0,39	0,220

Таким образом. определив $(HB_t)_{ком}$ и $(HB_t)_{отр}$, можно получить низкотемпературную зависимость HB_t от Т, а по параметру γ качественно оценить хладостойкость стали. А это в свою очередь может дать возможность оценки хладостойкости стали непосредственно в изделии путём локального замораживания его поверхности и последующим определением твёрдости переносным прибором.

Литература

1. **Матюнин В.М.** Индентирование в диагностике механических свойств материалов. М. Издательский дом МЭИ, 2015.

Н.А. Пыжьянов, студ.;
рук. Н.Ф. Котеленец, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ С ВОДОРОДНО-ВОДЯНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

С целью предотвращения аварийных отключений крупных турбогенераторов и оптимизации графика их выводов в ремонт целесообразно применять системы непрерывного мониторинга технического состояния, позволяющие отслеживать развитие дефектов внутри машин. Наиболее прогрессивными системами диагностики следует считать те, которые могут давать максимально полную информацию о техническом состоянии генератора, определять конкретное место развития дефекта и оценивать время работы до следующего отказа при минимальном вмешательстве в конструкцию машины.

Разработанная концепция системы диагностики турбогенераторов с водородно-водяным охлаждением основана на построении модели структурных связей между режимами работы подключённого к энергосистеме генератора [1], основными дефектами активной зоны и конструктивных элементов, изменением физических процессов вследствие развития дефектов и возможными причинами отказа. Для этого использован опыт эксплуатации и ремонта синхронных турбогенераторов [2, 3]. Модель учитывает возможность существования после изготовления и ремонта генератора невыявленных дефектов. Для повышения достоверности диагностики она дополнена анализом текущего режима.

Предложен перечень подлежащих контролю физических величин, оптимальный с точки зрения полноты информации о текущем состоянии машины и о динамике развития дефектов при минимальном количестве встраиваемых датчиков. Описан алгоритм обработки измеряемых величин в реальном времени. Применение систем диагностики, основанных на предложенной концепции, позволит снизить риски внезапных отказов крупных генераторов и, соответственно, развития каскадных аварий в энергосистеме.

Литература

1. **Коган Ф.Л.** Анормальные режимы мощных турбогенераторов. М.: Энергоатомиздат, 1988.
2. **Самородов Ю.Н.** Дефекты генераторов. М.: ЗАО «Энергетические Технологии», 2005.
3. Справочник по ремонту турбогенераторов. Под ред. д.э.н., проф. Х.А. Бекова, к.э.н., проф. В.В. Барило. М.: ИПКгосслужбы, ВПИКэнерго, 2006.

С.Ю. Никитин, студ.; рук. С.В. Серебрянников, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРЕИМУЩЕСТВА RIN — ИЗОЛЯЦИИ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВВОДАХ

Увлажнение изоляции — одна из достаточно распространенных причин повреждения вводов в эксплуатации. Увлажнение твердой изоляции вводов происходит при неправильном хранении и эксплуатации и приводит к уменьшению срока службы ввода, являясь одной из причин, связанной с повреждаемостью вводов.

1. Основным преимуществом RIN (Resin Impregnated Nonwoven) — изоляции является ее гидрофобность, т.е. неспособность нетканого материала смачиваться водой [1].

Исключение бумаги из конструкции ввода исключает способность изоляционного остова поглощать влагу, что в свою очередь, делает коэффициент диэлектрических потерь материала абсолютно стабильным и не зависящим от воздействия очень высокой влажности. Это обеспечивает простоту и отсутствие особых требований при транспортировании, и хранении, а также надёжность работы в период эксплуатации. Вводы с RIN изоляцией характеризуются очень низким коэффициентом диэлектрических потерь tanδ 0,20–0,22%, что значительно ниже минимума, который требуется по стандарту IEC 60137:2017 (МЭК 137) и ГОСТ Р 55187–2012 и нормируется величиной 0,7%.

2. Не оставляющий пустот процесс пропитки за счет химической реакции синтетической нити и эпоксидной смолы позволяет обеспечить отсутствие частичных разрядов внутри изоляции вплоть до максимального рабочего напряжения.

3. RIN изоляция обладает высокой теплопроводностью и низким коэффициентом теплового расширения, что ведёт к уменьшению напряжения между механически соединёнными элементами ввода.

В работе проведены исследования свойств внутренней RIP (Resin Impregnated Paper) и RIN-изоляции. RIP — изоляция самый распространённый вид внутренней изоляции в высоковольтных вводах, который представляет из себя остов, изготовленный из крепированной бумаги, пропитанной эпоксидным компаундом. С учетом проведенного исследования были построены частотные зависимости tanδ на разных температурах, которые доказывают преимущества применения RIN-изоляции.

Литература

1. **Славинский А.З.** Высоковольтные вводы: Расчет, конструирование и ремонт. — М.; ООО Издательство «Научтехлитиздат», 2001.

Секция 51.
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ И МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

Председатель секции — Меркурьев Игорь Владимирович
Секретарь секции — Капустина Ольга Михайловна

Чжу Цзиньжун (студ.); И.В. Меркурьев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

НОВАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Представлена новая математическая модель и опытный образец робототехнического комплекса, предназначенного для оперативного неразрушающего контроля дефектов, микроструктуры и физико-механических свойств конструкционных материалов и элементов конструкций. Актуальность исследований связана с необходимостью оценивания состояния конструкций и материалов в труднодоступных и опасных для человека условиях.

Робот-манипулятор построен на базе многозвенной электромеханической конструкции с линейным и угловым типом движения. Конструкторское проектирование выполнено в программе SolidWorks. Для обеспечения выполнения роботом заданных функций разработана кинематическая схема робототехнического комплекса, алгоритмы управления движением манипулятора с учётом силового и измерительного взаимодействия с целевой аппаратурой. Разработано программное обеспечение для выполнения функций робота с дистанционным управлением. Движение робота обеспечивается специализированной платой управления и обработки информации.

С использованием формализма Лагранжа построена математическая модель робота-манипулятора. Найдено программное управление роботом, обеспечивающее заданное движение элементов конструкции и функционирование целевой аппаратуры неразрушающего контроля. Построенная математическая модель была использована для оптимизации алгоритмов управления роботом. С использованием метода динамического программирования Беллмана были найдены коэффициенты в цепи обратной связи, обеспечивающие минимизацию энергопотребления робота при переносе целевой аппаратуры.

Для визуализации и математического моделирования движения робота была применена система компьютерной алгебры *Mathematica*. Построены графики некоторых параметров системы в переходных процессах при движении робота с минимальными энергозатратами. Полученные результаты были использованы для сравнения численных и экспериментальных данных опытного образца робота. Анализ результатов математического моделирования и экспериментальных испытаний робота показывает адекватность разработанной математической модели робота.

В.К. Зимичев, студ.; А.И. Кобрин, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

НЕЙРОУПРАВЛЕНИЕ АДАПТИРУЕМОЙ ДИНАМИКОЙ ШАГАЮЩЕГО РОБОТА

Стабильная (без падений) ходьба разрабатываемого двуногого прямоходящего робота реализуется с помощью основанной на рефлексах нейронной сети, которая связана с сигналами локальных датчиков. Управление использует три сигнала: предельный угол наклона (от акселерометра), угловая скорость (от микромеханического гироскопа) и наличие контакта с подстилающей поверхностью. Нейронный контроллер и механическая модель робота тесно связаны и объединены в нейромеханическую систему. Эксперименты с ходьбой реального робота демонстрируют эту связь. Схема конструкции нижних конечностей аппарата представлена на рис. 1.

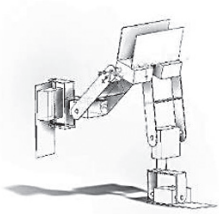


Рис. 1. Схема конструкции ног шагающего аппарата

Управление аппаратом производится с помощью платы ArduinoUno, на ней же обрабатываются данные датчиков (акселерометра ADXL345 и гироскопа BMI160), осуществляющих обратную связь.

В работе средствами языка Python реализован обучающийся адаптивный алгоритм. Используются методы обратного распространения ошибки и градиентного спуска, а также несколько видов регуляризации весов для целевой функции.

Знаменитый двуногий робот RunBot [1], движущийся по кругу большого радиуса в сагиттальной плоскости, достиг рекордной скорости устойчивой ходьбы уже после нескольких минут онлайн-обучения. В данной работе был собран и программируется аппарат, направление движения которого не ограничено. Разрабатывается архитектура управления нейронной сетью, позволяющая использовать обучающий алгоритм настройки параметров нейронов во время ходьбы в режиме реального времени.

Преимуществами создаваемой системы управления являются адаптивность к переменным параметрам подстилающей поверхности и кросс-платформенность.

Литература

1. **P. Manoonpong, T. Geng, T. Kulvicius, B. Porr, F. Wörgötter.** (2007) Adaptive, fast walking in a biped robot under neuronal control and learning. PLoS Computational Biology 3 (7):e134. doi:10.1371/journal. pcbi. 0030134

Д. Диб, студ.; рук. И.В. Меркурьев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА

В настоящее время все большее применение в различных сферах человеческой деятельности, в промышленности и на транспорте находят мобильные, манипуляционные и антропоморфные роботы, способные заменить человека при выполнении тяжелых, монотонных и опасных работ. Актуальность исследования связана с созданием новых типов автоматических антропоморфных роботов, позволяющих выполнять требуемое движение и различные технологические операции без непосредственного участия человека.

Поставлена задача исследования динамики и процессов управления для упрощенной математической модели плоского движения робота в одноопорной фазе движения. Масса корпуса робота предполагается существенно больше массы конечностей робота. Механическая конструкция конечностей представляет собой стержни, соединенные при помощи цилиндрических шарниров, моделирующих голеностопный, коленный и тазобедренный суставы. Управление движением робота осуществляется электродвигателями, расположенными в соответствующих цилиндрических шарнирах. Положение корпуса робота определяется по измерениям жестко закрепленного на корпусе микромеханического акселерометра, моделирующего вестибулярный аппарат человека. Микромеханический акселерометр позволяет оценить отклонение корпуса робота от местной вертикали.

Для составления математической модели робота использована теорема о движении центра масс корпуса и теорема об изменении кинетического момента корпуса относительно центра масс. Полученная нелинейная математическая модель робота описывает управляемое движение корпуса по трем обобщенным координатам, задающих положение робота в одноопорной фазе движения.

Найдено решение прямой задачи динамики робота. Для заданного закона движения звеньев робота определены программные управляющие моменты в сочленениях робота. Разработана система автоматической стабилизации программного движения. Получена линеаризованная в окрестности программного движения система дифференциальных уравнений робота. Система стабилизации реализована в виде обратной связи по оценке вектора состояния линеаризованной системы.

Для анализа точности построенной системы управления проведено математическое моделирование движения электромеханической системы.

А.А. Ермаков, студ.; рук. А.М. Аббясов, ст. преп. (ИГЭУ, г. Иваново)

ДВУХОСЕВОЙ ПЕРЬЕВОЙ ПЛОТТЕР

Плоттер предназначен для нанесения на плоскую поверхность рисунка, который предварительно преобразовывается из векторной графики в «g-code».

В качестве управляющей платформы используется Arduino Uno. В системе также использованы шаговые двигатели NEMA 17 и дополнительный сервопривод для поднятия и опускания ручки. Для работы с шаговыми двигателями используются два драйвера A4988. Шаговые двигатели через ременную передачу приводят в движение тележку (рис 1.) Данный тип привода позволяет значительно сократить количество деталей. В зависимости от направления движения каждого шагового двигателя, тележка движется в одном из направлений.

Все основные детали плоттера выполнены на 3d принтере. Также предусмотрена возможность установки различных пишущих элементов, что позволяет наносить изображения на любые плоские поверхности.

Сигнал на контроллер передается с помощью программного обеспечения «UniversalGcodeSender» через порт COM, что в свою очередь позволяет позиционировать плоттер без использования концевых выключателей, необходимо задать только начало координат в начале работы.

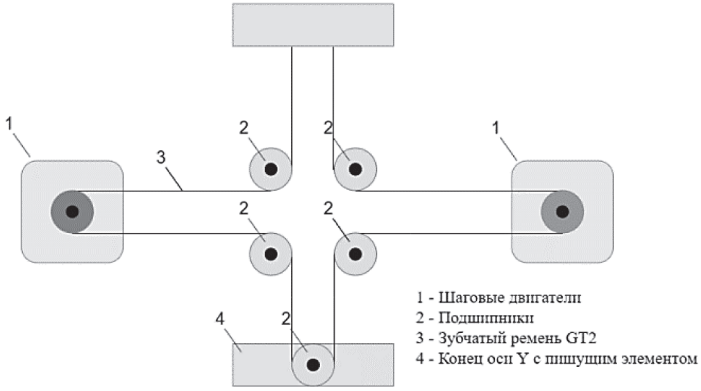


Рис. 1. Ременная передача плоттера

Е.А. Агеев, студ.; рук. Г.В. Панкратьева, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КИНЕМАТИКИ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ НА РОЛИКОВЫХ КОЛЁСАХ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

Работа посвящена анализу кинематики трёхколёсной мобильной платформы всенаправленного движения. Такие роботы обладают лучшей маневренностью по сравнению с роботами на обычных колесах, что позволяет использовать их в ограниченном пространстве. под произвольным углом [2] к плоскости колеса (рис. 1, 2). Получены уравнения, связывающие скорость центра платформы и её угловую скорость с угловыми скоростями колёс. Для некоторых частных случаев движения платформы определены скорости вращения колёс, которые в кинематической постановке задачи являются управляющими параметрами, обеспечивающими требуемое программное движение.

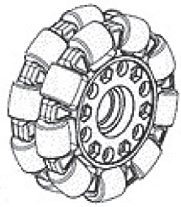


Рис. 1. Роликонесущие колеса с расположением роликов в плоскости колеса

Рассматривается случай симметрично расположенных относительно некоторой фиксированной точки платформы (центр) колёс двух типов: классические омни-колёса [1] и колёса, оси роликов которых расположены под произвольным углом [2] к плоскости колеса (рис. 1, 2). Получены уравнения, связывающие скорость центра платформы и её угловую скорость с угловыми скоростями колёс. Для некоторых частных случаев движения платформы определены скорости вращения колёс, которые в кинематической постановке задачи являются управляющими параметрами, обеспечивающими требуемое программное движение.

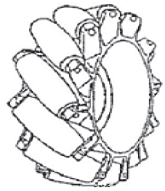


Рис. 2. Роликонесущие колеса с произвольным расположением роликов

Выполнен анализ точности реализации программного движения при наличии погрешности задания угловых скоростей колёс

Сравнительный анализ результатов численных экспериментов, проведённых для рассматриваемых типов колёс, позволяет сделать вывод о том, что с точки зрения энергоёмкости управления и точности отработки программного движения в данной задаче предпочтительным является вариант роликов, оси которых лежат в плоскости колеса. Расчеты показывают, что неточность задания угловых скоростей колёс в большей степени влияет на отклонение центра от программной траектории, чем на точность отработки угла поворота платформы.

Литература

1. **Мартыненко Ю.Г.** Устойчивость стационарных движений мобильного робота с роликонесущими колесами и смещенным центром масс // Прикладная математика и механика. — 2010. — Т. 74, №4. — С. 610–619.
2. **Адамов Б.И., Капустина О.М., Меркурьев И.В., Панкратьева Г.В.** Кинематика, динамика и управление движением мобильного робота-манипулятора youbot. — М.: Изд-во МЭИ Москва, 2018. — 72 с.

И.В. Апанасевич, студ.; рук. И.В. Меркурьев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ РОБОТА НА РОЛИКОНЕСУЩИХ КОЛЕСАХ

В целях участия в международных робототехнических соревнованиях поставлена задача разработки автономного мобильного колесного робота на роликонесущих колесах с интегрированной автоматической системой управления и навигации.

Актуальность проектирования нового типа робота обусловлена способностью робота перемещаться в произвольном направлении на плоскости в стесненных внешних условиях. Робот имеет многочисленные варианты применения в промышленности и в быту. На ведущих колесах мобильного робота установлены свободно вращающиеся резиновые ролики, обеспечивающие возможность перемещения корпуса в произвольном направлении за счет автоматического управления тяговыми электродвигателями (рис. 1).

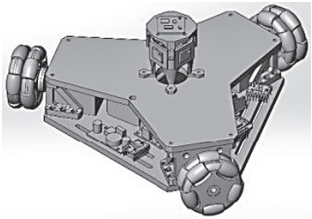


Рис. 1. 3D модель робота

В докладе обсуждаются этапы создания конструкции робота с использованием системы автоматизированного проектирования SolidWorks, изготовления и сборки макетного образца, отладки бортового программного обеспечения на тестовых движениях робота. В качестве силовых электроприводов выбраны три двигателя NEMA 17, управляемых с помощью драйверов A4988, которые обеспечивают требуемую динамику и заданную точность движения корпуса робота.

Управление роботом обеспечивает микроконтроллер ARDUINO Uno, производящий также обработку данных инерциального измерительного модуля на базе микромеханических гироскопов и акселерометров, внешней измерительной информации лазерных дальномеров и датчиков углов поворота ведущих колес. Проведенный анализ результатов математического моделирования и экспериментальных движений мобильного робота показывает высокую эффективность предложенных технических и программных решений.

Литература

1. **Мартыненко Ю.Г.** О движении мобильного робота с роликонесущими колёсами / Ю.Г. Мартыненко, А.М. Формальский // Изв. РАН. Теория и системы управления. — 2007. — №6. — С. 142–149.

А.С. Куликов, студ.; рук. Ф.Ф. Хабибуллин, к.т.н., доц. (КНИТУ-КАИ, Казань)

РАЗРАБОТКА МЕХАТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА БАЗЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО 4R МЕХАНИЗМА

В качестве общего случая пространственного механизма в литературе фигурирует четырехзвенный механизм с одними только вращательными парами (4 Rotation), оси шарниров которого не параллельны и не пересекаются. Данный механизм также называют «парадоксальным» механизмом по причине, что по известной структурной формуле степень подвижности пространственного 4R механизма равна –2, следовательно, механизм не должен работать [1]. Исследования показали, что наряду со структурной формулой, учитывающей лишь число звеньев и число подвижных соединений (пар), следует принять во внимание геометрические размеры и избыточные (пассивные) связи пространственной шарнирной цепи. С учётом геометрических особенностей механизма было разработано более 50 его модификаций и изготовлены лабораторные модели, некоторые из которых приведены на рисунках 1а) и 1б).

а) б) в) г) д)

Рис. 1. Фотографии лабораторных, мехатронных установок, разработанных на базе пространственного 4R механизма

На основании результатов экспериментальных исследований и CAD\CAE анализа лабораторных моделей были выявлены преимущества модификаций, которые дают возможность повысить производительность в дробильных установках на 35%, сократить время перемешивания в смесительных установках на 30% и улучшить эргономику дверей с пространственной траекторией открывания в раскладывающихся конструкциях. На рисунках 1в), 1г) и 1д) приведены фотографии мехатронных установок, разработанных с учетом анализа результатов экспериментальных исследований по изучению преимуществ пространственного 4R механизма.

Литература

1. **Мудров П.Г.** Пространственные механизмы с вращательными парами / Мудров П.Г. // Казань: Казанский сельскохозяйственный институт им. М. Горького, 1976. — 265 с.

Т.В. Айсин, А.О. Циммерман, студенты;
рук. Б.И. Адамов, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Характеристики естественных водных объектов, такие как температура и уровень воды, содержание растворенных солей и др., подвержены постоянным изменениям. Организация высокоточных, происходящих с высокой частотой наблюдений за ними позволяет получить важнейшую информацию об их состоянии, исследовать зависимости от внешних факторов воздействия, прогнозировать опасные явления и планировать мероприятия по смягчению этих явлений. В этой связи использование автономных регистраторов, построенных на современной элементной базе, предоставляется чрезвычайно актуальным и эффективным.

В настоящем докладе описан процесс разработки, сборки, оптимизации и оценки автономного регистратора рис. 1 температуры, уровня воды и содержания растворенных веществ, построенного на базе Arduino Nano [1] и датчиков TDS meter [2], MS5803 [3]. Автономный регистратор позволяет вести запись характеристик водных объектов на встроенную флеш-память с высокой частотой (от 1 секунды).

Проведено исследование точности измерений, энергоэффективности и водонепроницаемости корпуса. Принимая во внимание то, что в настоящее время в России такое оборудование не производится серийно, а зарубежные аналоги отличаются высокой стоимостью, данная разработка представляет высокий научный и практический интерес.

Рис. 1. Автономный регистратор

Список литературы

1. https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano
2. https://www.dfrobot.com/product-1662. html
3. https://thecavepearlproject.org/2014/03/27/adding-a-ms5803-02-high-resolution-pressure-sensor/

М.Б. Цветков, Ч.Т. Чунг, аспиранты;
рук. И.В. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

В связи с развитием различных отраслей промышленности (атомной энергетики, машиностроения, двигателестроения, станкостроения и т.д.) возрастает необходимость в увеличении объема исследовательских работ в материаловедении. Большое внимание уделяется экспериментам с определением дефектов и физико-механических свойств материалов. Для повышения эффективности таких исследований необходима разработка новых методик и технических средств, позволяющих автоматизировать процессы испытаний и контроля материалов и увеличить их производительность. Для этого перспективны роботизация и автоматизация технологий испытаний и контроля материалов с использованием дистанционного управления [1].

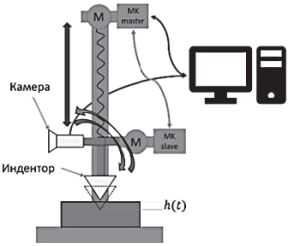


Рис 1. Схема устройства

Была построена математическая модель, написана программа управления, а также собран прототип робототехнического комплекса для исследования свойств материалов методом индентирования. Для управления использованы два микроконтроллера *Atmega328p*, набор оптических, магнитных, токовых сенсоров и интегральных схем-драйверов для контроля приводных электродвигателей [2,3].

Литература

1. **Зенкевич С.Л., Ющенко А.С.** Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами: Учеб. для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2000. 400 с.
2. **Блум Дж.** Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства: Пер. с англ. СПб.: БХВ-Петербург, 2015. 336 с.
3. **Хоровиц П., Хилл У.** Искусство схемотехники: Пер. с англ. Изд. 2-е. М.: Издательство БИНОМ. 2014. 704 с.

Е.Р. Коваш, асп.; рук. И.В. Меркурьев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ПОЗИЦИОННЫХ СИЛ НА ДИНАМИКУ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

В настоящее время можно наблюдать интенсивное развитие и широкое применение микросистемной техники, которая основывается на высокоточных и миниатюрных датчиках, которыми являются микромеханические гироскопы (ММГ). Они обладают такими свойствами, как миниатюрные размеры, малое энергопотребление, высокая устойчивость к внешним факторам, которые позволяют их использовать в современных навигационных приборах. Область применения микромеханических гироскопов интенсивно расширяется. Сейчас эти устройства можно найти как в приборах бытовой техники, так и в аэрокосмической отрасли.

Актуальной является задача создания новой математической модели ММГ, выявление новых аналитических зависимостей, которые позволят повысить точностные свойства микромеханического гироскопа.

Рассматривается одна из конструктивных схем ММГ с упругим подвесом твердого тела — чувствительного элемента с промежуточной рамкой. Кинематическая схема гироскопа представляет собой двухстепенной карданов подвес чувствительного элемента. Предполагается, что элементы упругого подвеса имеют неодинаковую жесткость, малые перекрестные связи между осями подвеса, а также малые позиционные и скоростные силы из-за возмущений.

Ставится задача разработки новой математической модели движения чувствительного элемента гироскопа, исследования влияния позиционных сил, возникающих из-за неодинаковой жесткости элементов упругого подвеса, на амплитудо-частотную характеристику колебаний чувствительного элемента в режиме вынужденных малых колебаний.

После преобразований для данного гироскопа получены и проанализированы уравнения малых колебаний, построена амплитудо-частотная характеристика. Было выявлено, что угловое движение основания вызывает раздвоение собственной частоты колебаний на две близкие частоты, что приводит в режиме вынужденных колебаний к двум резонансным пикам на амплитудо-частотной характеристике. Парировать неодинаковую жесткость элементов упругого подвеса можно с помощью управления напряжением на силовых электродах гироскопа.

А.С. Савиных, студ.; рук. А.Б. Гавриленко, старш. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОЙ НАВИГАЦИИ И ОРИЕНТАЦИИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

В настоящее время становится актуальным применение мобильных робототехнических комплексов. Автономное функционирование подобных комплексов требует решения навигационных задач в условиях неизвестных свойств окружающей среды и достаточной точности позиционирования робота.

В процессе перемещения мобильной платформы на её пути могут появляться препятствия, столкновения с которыми опасны возникновением аварий. Алгоритмы управления с целью обхода препятствий требуют определения положения в пространстве препятствий и самого робота. Для этого используются различные системы измерительной аппаратуры и программного обеспечения. Данная работа посвящена задаче комплексной обработки информации для точного навигационного решения.

Актуальность указанной задачи подтверждается большим числом работ, посвящённых её решению, и широким набором разработанных способов навигации [1] и алгоритмов обработки информации.

Датчики и измерительные приборы, установленные прямо на борту мобильного робота, образуют систему технического зрения, обеспечивающую предотвращение столкновений мобильного робота с препятствиями в неизвестных условиях окружающей среды.

Предлагаемая система технического зрения состоит из камеры и лазерного дальномера *Hokuyo URG-04LX-UG01*, который имеет сектор сканирования 180°. Данная система установлена на мобильной платформе *Kuka youBot*, оснащённой колёсами *OnmiWheel*. Информация от измерительных приборов, камеры и дальномера, обрабатывается разработанной автором программой на бортовом компьютере мобильного робота, которая определяет положение робота в пространстве, наличие статических и динамических препятствий, планирует дальнейшее движение робота.

Полученные результаты могут быть применены, например, в рамках создания автономной системы доступа к складскому помещению. Подобные системы технического зрения могут входить в систему управления роботами-погрузчиками, перемещающимися по территории предприятия, и встречающими на своём пути как динамические (люди), так и статические (контейнеры, оборудование) препятствия.

Литература

1. **Sergiyenko, O., Flores-Fuentes, W., & Mercorelli, P. (Eds.).** (2020). Machine Vision and Navigation. Springer Nature.

М.Р. Сайпулаев, асп.; рук. И.В. Меркурьев, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА С УЧЕТОМ НЕСОВЕРШЕНСТВА ТЕХНОЛОГИИ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Микромеханические гироскопы (ММГ) [1] являются широко используемыми датчиками инерциальной информации современных навигационных систем и применяются в оборудовании военного, транспортного и бытового назначения. Создание адекватных математических моделей ММГ является важным этапом разработки конструктивных схем резонаторов [1,2].

Объектом исследований является ММГ с чувствительным элементом в виде инерционной массы, закрепленной на рамке карданового подвеса (рис. 1).

Целью исследования является получение новой математической модели ММГ R-R типа с учетом нелинейности электростатических датчиков управления и ошибок, возникающих из-за неортогональности осей карданового подвеса и смещения центра масс инерционной массы относительно геометрического центра подвеса.

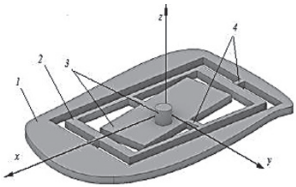


Рис. 1. Конструкция ММГ

В данной работе исследуется нелинейная динамика ММГ R-R типа в резонансном режиме колебаний на подвижном основании. При построении математической модели предполагается, что угловая скорость основания прибора произвольная.

В работе получены нелинейные уравнения осредненных колебаний [3]. По результатам сравнения зависимостей медленных переменных, полученных после осреднения, с экспериментальными данными, подтверждена корректность построенной математической модели. В линейном случае полученные результаты совпадают с известными [2].

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.

А.С. Широков, П.В. Катечкин, Р.Д. Ягудин, студенты;
рук. А.Б. Гавриленко (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ 3D-ПРИНТЕРА

Данная работа посвящена анализу кинематики 3D-принтера нового типа, предназначенного для печати деталей любого размера.

В настоящее время 3D-принтеры применяются в различных отраслях производства и строительстве. Используемые при этом технологии и материалы достаточно разнообразны. Появляются сообщения о все новых примерах изготовления объектов при помощи трёхмерной печати.

Существующие 3D-принтеры различаются конструкциями и могут быть реализованы в виде мобильных или стационарных устройств. Стационарные модели имеют ограниченную область печати и, следовательно, для печати больших объектов должны также иметь значительные размеры. Изготовление и эксплуатация крупных принтеров требует больших материальных затрат.

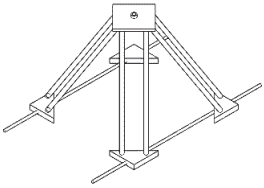


Рис. 1. Конструкция 3D-принтера

В данной работе рассматривается модель принтера [1], печатающая головка которого с экструдером перемещается в пространстве при помощи четырёх ползунов, движущихся вдоль горизонтальных направляющих на рис. 1. С ползунами связаны электродвигатели управления. Тяги соединяют ползуны с печатающей головкой. Механизм перемещения головки позволяет установить ее в любой точке возле стационарного основания, на котором закреплены направляющие.

Позиционирование печатающей головки достигается за счет систем технического зрения. Такая конструкция даёт возможность осуществлять 3D-печать объектов любого размера.

В докладе излагаются результаты анализа кинематической схемы описанного 3D-принтера. В частности, представлена матрица Якоби [2] механизма, проведено моделирование поведения головки принтера при печати.

Литература

1. Трёхмерный принтер: Пат. RU 143754 U1 Рос. Федерация. МПК8 B41F 17/00 (2006.01) А.А. Титов, В.А. Лёвушкин; №2014115860/12; заявл. 21.04.2014; опубл. 27.07.2014, бюл. №21.
2. Springer Handbook of Robotics // ed. by Siciliano B., Khatib O., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. LIX, 1611 p.

И.А. Рябых, А.М. Абдрахманов, студенты;
рук. А.Н. Богданов, к.т.н. (КГЭУ, Казань)

ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ РОБОТИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ

В энергетике [1] существует ряд областей, в которых развитие роботизированных технологий способно принести значительный экономический эффект. Используемые роботы делятся на программные и программно-аппаратные. Программные роботы — это комплексы компьютерных программ для мониторинга состояния, предотвращения аварий и оптимизации систем производства, передачи и распределения энергии. Программно-аппаратные роботы выполняют различные механические операции с помощью своих исполнительных элементов, управляемых контроллерами. Предполагается, что в ближайшие годы роботизированные комплексы придут в сферы грузоперевозок, бурения скважин, экскавации в угледобывающей промышленности. Роботы заменят человека при выполнении однообразной, опасной, утомительной работы, например, при вязке гирлянд изоляторов, изготовлении трансформаторов, распределительных щитов, при работе в условиях высокой радиации.

Высшие учебные заведения, готовящие кадры для энергетической промышленности, должны учитывать потребности отрасли в специалистах, способных решать указанные задачи. С начала 2019 года в молодежном инновационном центре «Энергия» (далее МИЦ) совместно с кафедрой «Приборостроение и автоматизированный электропривод» при КГЭУ сформированы три студенческие команды для разработки:

— доступного для малого и среднего бизнеса робота-промоутера, используемого в выставочной деятельности;
— робота со сменными элементами;
— мобильной платформы робот-пылесос.

На первом этапе в МИЦ студенты выполняют учебные проекты, приобретая навыки проектирования, программирования, монтировки, учатся работать в команде. При этом формируется сама команда, а также создаётся готовый к использованию продукт.

На втором этапе — работа с внешним заказчиком, поиск проблемы на предприятии, разработка решения и его внедрение.

Мы формируем команды, которые будут способны создавать новые роботы и модернизировать их для производственных задач в энергетике.

Литература

1. **Кривошапка И.В.** Национальные особенности ИИ. Роботы избавят от всего, что скучно, грязно и опасно // Энергетика и промышленность России. 2020. №01–02 (381-382). Январь // URL: https://www.eprussia.ru/epr/381–382/9915542. htm

Р.Д. Ягудин, студ.;
рук. О.М. Капустина к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ МОБИЛЬНОГО ПРИНТЕРА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

В настоящее время в мире наблюдается значительный интерес к разработке и производству 3D-принтеров, предназначенных для производства объёмных объектов различного назначения в строительстве, самолетостроении, производстве судов и автомобилей. Недостатком стационарных моделей 3D-принтеров является их громоздкость, ограниченность размеров производимых деталей, а также то, что детали создаются в месте, где установлен принтер. Мобильные принтеры могут решить отмеченные проблемы. Среди уже существующих следует отметить крупнейший в мире мобильный 3D-принтер, разработанный бельгийской компанией Colossus. Мобильность достигается за счёт совмещения корпуса устройства и переносимого контейнера. Голландская компания CyBe создала принтер на гусеничном ходу. Мобильный строительный принтер, созданный в Массачусетсом технологическом институте, представляет собой манипулятор с соплом, установленный на радиоуправляемом внедорожнике с гусеничными лентами.

В работе рассматривается мобильный 3D-принтер [1], разработанный компанией RoboPrint [2]. Печатающая головка принтера размещена в корпусе, связанном с четырьмя ползунами, перемещающимися по двум параллельным направляющим, расположенным в горизонтальном основании. Связь осуществляется при помощи штанг со сферическими шарнирами на концах. Печатающая головка содержит датчик для автономного определения координат основания. В основании располагаются двигатели управления перемещениями ползунов, обеспечивающими установку головки в требуемую точку рабочей области принтера.

Представлено решение прямой задачи кинематики принтера. При этом в качестве обобщённых координат приняты перемещения ползунов вдоль направляющих, а головка рассматривается как материальная точка, положение которой относительно основания задаётся тремя декартовыми координатами. Определена рабочая область принтера.

Результаты могут быть использованы при построении алгоритмов управления печатью.

Литература

1. Трёхмерный принтер: Пат. RU 143754 U1 Рос. Федерация. МПК8 B41F 17/00 (2006.01) А.А. Титов, В.А. Лёвушкин; №2014115860/12; заявл. 21.04.2014; опубл. 27.07.2014, бюл. №21.
2. https://www.roboprint.tech

Е.П. Кружков, студ.; рук. Б.И. Адамов, к.ф.-м.н. (НИУ «МЭИ»)

НАВИГАЦИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА С УПРАВЛЕНИЕМ ЧЕРЕЗ УДАЛЁННЫЙ КОМПЬЮТЕР

В наши дни сфера применения робототехники интенсивно расширяется. Происходит усложнение задач, возлагаемых на робототехнические системы. Одной из таких задач является собственная локализация робота и планирование маршрута (англ. SLAM — Simultaneous localization and mapping) [1, 2].

В работе создано программное обеспечение для решения задачи SLAM с целью определения точного местоположения робота в пространстве.

В качестве робота используется квадрокоптер Ar. Drone 2 [3, 4]. Главным его достоинством является высокая мобильность и относительно простое перепрограммирование. На текущий момент очень небольшой сегмент рынка квадрокоптеров предоставляет такие возможности.

Визуальная информация об окружающем робота пространстве, получаемая с камеры, передаётся на компьютер. На компьютере написанное программное обеспечение, с использованием библиотеки OpenCV [5], анализирует и запоминает её для расширения карты местности, после чего компьютер передаёт управляющие команды о дальнейшем движении квадрокоптеру.

Ключевой особенностью рассматриваемого подхода является возможность оперативного определения роботом своего местоположения с поддержанием карты местности в актуальном состоянии, а также вынесение больших вычислительных мощностей за пределы робота. Такая компоновка системы является очень перспективным решением благодаря появлению высокоскоростных сетей передачи данных (5G).

Литература

1. **A. Ajay, D. Venkataraman.** A Survey on Sensing Methods and Feature Extraction Algorithms for SLAM Problem // International Journal of Computer Science, Engineering and Applications (IJCSEA). Vol. 3, No. 1. 2013 — pp. 59–63.
2. **D. Qian, S. Rahman, J.R. Forbes.** Relative Constrained SLAM for Robot Navigation // 2019 American Control Conference — doi:10.23919/ACC. 2019.8814592
3. Ar. Drone 2: [Электронный ресурс]. URL: https://www.parrot.com/global/drones/parrot-ardrone-20-elite-edition
4. ARDrone quadcopter in robotics research: [Электронный ресурс]. URL: http://labe.felk.cvut.cz/~tkrajnik/ardrone/
5. OpenCV: [Электронный ресурс]. URL: https://opencv.org/

Г.Р. Сайпулаев, студ.; рук. Б.И. Адамов, к.ф.-м.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПЛАТФОРМЫ С УЧЕТОМ КОНСТРУКЦИИ МЕКАНУМ-КОЛЕС И ПОЛИКОМПОНЕНТНОГО КОНТАКТНОГО ТРЕНИЯ

Рассматривается мобильная платформа всенаправленного движения *1* робота *KUKA youBot* (рис. 1), оснащенная двумя парами меканум-колес. На их периферии расположены пассивные ролики *3*, оси которых составляют угол 45° с осями вращения колес *2*. В большинстве работ, посвященных динамике подобных систем, рассматривается упрощенная модель колес всенаправленного движения [1,2] (в качестве исключения приведем статью [3], где рассматриваются омни-колеса другой конструкции).

Целью исследования является изучение динамики платформы всенаправленного движения с учетом конструкции шасси: формы роликов и их конечного числа. Для описания контактного трения роликов с поверхностью используется модель поликомпонентного трения [4].

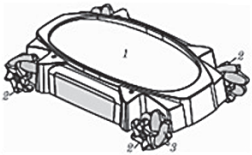


Рис. 1. Платформа мобильного робота KUKA youBot

Построены уравнения движения платформы с учетом реальной конструкции меканум-колес и проскальзывания в точке контакта ролика и опорной поверхности. Сравнительный анализ результатов показал, что при использовании модели поликомпонентного трения средние значения скоростей вращения колес смещены по сравнению с результатами моделирования при трении Кулона. Показано, что учет трения Кулона и поликомпонентного трения при программном управлении, соответствующем движению точек платформы по круговым траекториям в упрощенной модели [2], приводит к отклонениям этих точек от их траекторий. Причем при поликомпонентном трении эти отклонения больше, чем при трении Кулона.

Литература

1. **Мартыненко Ю.Г.** О движении мобильного робота с роликонесущими колёсами / Ю.Г. Мартыненко, А.М. Формальский // Изв. РАН. Теория и системы управления. — 2007. — №6. — С. 142–149.
2. **Adamov B.I.** A study of the controlled motion of a four-wheeled mecanum platform // Nelineinaya Dinamika. 2018. vol. 14. no. 2. pp. 265–290.
3. **Герасимов К.В.** Динамика экипажа на омни-колесах с массивными роликами с учетом смены ролика в контакте с опорной плоскостью / К.В. Герасимов, А.А. Зобова // Труды МАИ. — 2018. — №101. — С. 1–26.
4. **Андронов В.В., Журавлев В.Ф.** Сухое трение в задачах механики // М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2010. — 184 с.

Направление

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Директор ИЭЭ, к.т.н., доцент В.Н. Тульский

Секция 52.
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Председатель секции — Кузнецов Олег Николаевич
Секретарь секции — Зубкова Ирина Сергеевна

Д.А. Аверьянов, Е.С. Мирошина, студенты
рук. О.Н. Кузнецов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ, НА ДЕМПФИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ЭЭС

Режимы электроэнергетических систем (ЭЭС) усложняются при установке различных устройств поддержания и улучшения качества электроэнергии, в числе которых и стабилизаторы напряжения.

На сегодняшний день электроприёмники чувствительны к значительным изменениям напряжения, поэтому стабилизаторы напряжения нашли широкое применение как для питания коммунально-бытовой, так и промышленной нагрузки. Настоящее исследование посвящено оценке влияния стабилизаторов напряжения на демпфирование электромеханических колебаний ЭЭС.

Как правило, стабилизаторы напряжения применяются на низких классах напряжения. Эквивалентный стабилизатор напряжения, установленный на шинах 10 кВ, представлен моделью трансформатора с устройством РПН [1]. Отпайки стабилизатора переключаются с интервалом времени 0,006 секунды. Расчёты переходных процессов проводились в ПВК RastrWin[3] с помощью модуля RuSTAB [2]. Исходя из зависимостей, показанных на рисунке 1, можно сделать вывод, что применение стабилизаторов напряжения ухудшает демпфирование колебаний параметров режима системы.

Полученные результаты могут быть применимы при управлении режимами ЭЭС.

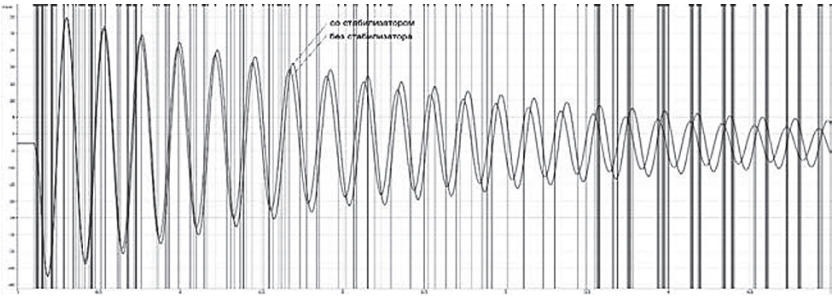


Рис. 1. Зависимость угла ротора генератора от времени при моделировании однофазного короткого замыкания

Литература

1. Программный комплекс «RuSTAB». Документация пользователя / В.Г. Нейумин, Е.В. Машалов, А.С. Александров, А.А. Багрянцев. 10.07.2019. — 395 с.
2. Программный комплекс «RastrWin». Руководство пользователя / В.Г. Нейумин, Е.В. Машалов, А.С. Александров, А.А. Багрянцев. 15.10.2015. — 281 с.

Д.А. Аверьянов, Е.С. Мирошина, студенты
рук. О.Н. Кузнецов, к.т.н., доцент (НИУ МЭИ)

ВЛИЯНИЕ ДОЛИ АСИНХРОННОЙ НАГРУЗКИ, ПРЕДСТАВЛЕННОЙ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ НА ПРЕДЕЛ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

С каждым годом электроэнергетические системы (ЭЭС) становится все более сложными, протяженными и разветвленными, а количество потребителей и их общая нагрузка постоянно растут.

Увеличение доли асинхронной нагрузки отрицательно сказывается на динамической устойчивости электроэнергетической системы. По этой причине изучение электромеханических переходных процессов и расчёты связанные с ними не теряют своей актуальности со временем. В настоящем исследовании внимание уделено оценке влияния асинхронной нагрузки на динамическую устойчивость ЭЭС. В расчётах асинхронная нагрузка представляется двумя моделями: модель с эквивалентного асинхронного двигателя (ЭАД), замещающая группу АД разноудалённых электрически от узла нагрузки, и без ЭАД [1].

Расчёты проведены в ПВК RastrWin 3 с помощью модуля RuSTAB [2]. Было определено значение предельного времени отключения трехфазного КЗ при различной доле асинхронной нагрузки в узлах ЭЭС. Результатом расчёта являются зависимости, представленные на рисунке 1.

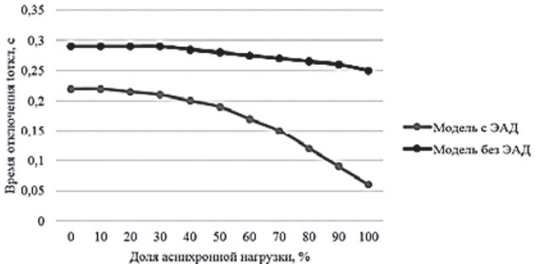


Рис. 1. Зависимость предельного времени отключения КЗ от доли асинхронной нагрузки

Увеличение доли асинхронной нагрузки приводит к снижению значения предельного времени отключения короткого замыкания.

Полученные результаты могут быть применимы при управлении и планировании режимов ЭЭС.

Литература

1. **Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е.** Применение математических моделей электрической нагрузки в расчётах устойчивости энергосистем и надёжности электроснабжения промышленных потребителей // М.: ЭЛЕКС-КМ, 2008. 248с.
2. **Программный комплекс «RastrWin».** Руководство пользователя / В.Г. Нейумин, Е.В. Машалов, А.С. Александров, А.А. Багрянцев. 15.10.2015. — 281 с.

П.А. Волгушев, А.И. Бурнаев, аспиранты; рук-ли В.А. Агеев, к.т.н., доц.;
К.А. Душутин, к.т.н., доц. (ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»)

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Выбор номера отпайки РПН (ПБВ) трансформаторов при расчете режима электрических сетей является сложной оптимизационной задачей. Сложность состоит в невозможности получения аналитической зависимости между номером отпайки РПН (ПБВ) трансформаторов и параметрами режима.

Решение поставленной задачи предлагается выполнить с применением генетического алгоритма. Применительно к данной задаче количество генов определяется количеством РПН (ПБВ) трансформаторов, значение каждого гена соответствует номеру отпайки РПН (ПБВ). Алгоритм оптимизации включает в себя три блока: генетический алгоритм, отвечающий за формирование набора генов; расчетный блок, вычисляющий параметры установившегося режима схемы электрических сетей для каждого генотипа в популяции; блок оценки приспособленности генотипа, оценивающий эффективность возможного решения с учетом принятых условий и ограничений.

Алгоритм реализован на базе программного комплекса для расчета режимов электрических сетей [1]. Графики изменения приспособленности генотипа в зависимости от числа особей в популяции при оптимизации по минимуму отклонения напряжения представлены на рисунке 1.

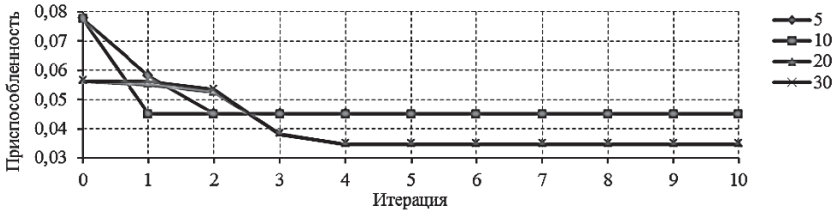


Рис. 1. Графики изменения приспособленности генотипа.

Предложенный алгоритм может быть использован при моделировании режимов существующих и проектируемых электрических сетей для достижения минимального значения отклонения напряжения от требуемого стандартом на шинах подстанций.

Литература

1. **Агеев В.А., Душутин К.А., Волгушев П.А.** Программный комплекс для расчета режимов электрических сетей // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии: V Всерос. науч.-техн. конф. (к 50-летнему юбилею каф. «Электроснабжение и электротехника» института энергетики и электротехники): сборник трудов. Тольятти. 2017. С. 4–10.

Г.И. Симонов, студ.; рук. В.В. Сенько, к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

В условиях внедрения технологий Smart Grid в управление современными электрическими сетями актуальной задачей становится перераспределение потоков мощностей для повышения пропускной способности высоковольтных линий. Одним из устройств решающих эту проблему является объединенный регулятор потоков мощности (ОРПМ). В ОРПМ два преобразователя напряжения объединяются параллельно на стороне постоянного напряжения [1]. Линии с ОРПМ называют линиями с векторным регулированием [2].

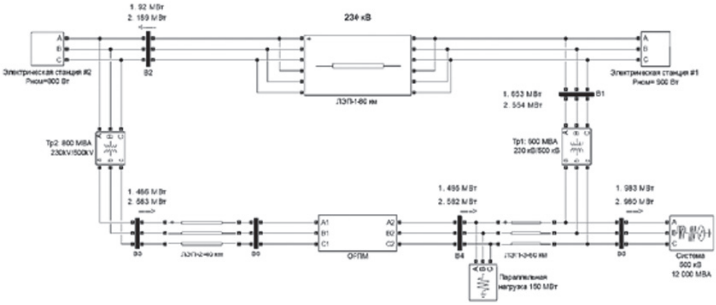


Рис. 1. Структурная схема модели электрической сети с ОРПМ

С помощью математического пакета MATLAB была смоделирована локальная энергосистема (рис. 1) 12 000 МВА с перегруженным на 53 МВт трансформатором Тр1 (Sном = 600 МВА) и ОРПМ мощностью 100 МВА, расположенным в конце ЛЭП-2. Последний используется для управления потоками активных и реактивных мощностей, а также напряжений на шине В4 500 кВ. Активные мощности с регулятором и без него указаны соответственно справа от цифр 2 и 1. Вычислительные эксперименты показали, что удаётся разгрузить Тр1 до 554 МВт. Можно сделать вывод, что ОРПМ позволяет разгрузить линии по активной мощности. Результаты работы могут быть использованы для предварительного анализа распределений основных потоков мощностей в новых участках сети.

Литература

1. Электрические сети сверх- и ультравысокого напряжения ЕЭС России. Теоретические и практические основы: в 3 т. / под общей редакцией чл.-корр. РАН А.Ф. Дьякова. М.: НТФ «Энергопрогресс» Корпорации «ЕЭЭК», 2012.
2. **Бортник И.М.** Основы современной энергетики: учебник для вузов: в 2 т. подобщей редакцией чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова. — 6-е изд., перераб. идоп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016.

Д.Я. Каюкова, Д.Д. Карасева, студенты;
рук. Д.Н. Удинцев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЛЭП, СВЯЗЫВАЮЩЕЙ ОБЪЕКТЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ С ЭНЕРГОСИСТЕМОЙ

В настоящее время в РФ активно поддерживается тенденция внедрения распределенной генерации (РГ) в централизованную энергосистему (ЭС).

В процессе анализа работы энергосистем с объектами РГ, работающими параллельно с внешней ЭС, был выявлен ряд особенностей:

- связь с внешним источником существует, в основном, для покрытия пиковых нагрузок и дефицита мощности в аварийных режимах, вследствие этого отсутствует постоянная нагрузка на сеть;
- относительно небольшая мощность передается на большие расстояния.

На обобщенном графике нагрузки показано, что основная часть пиков нагрузки ложится на внешнюю сеть. (Рис. 1)

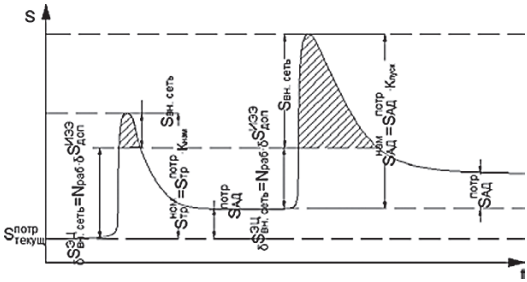


Рис. 1. График зависимости нагрузки от времени в режиме пиковых нагрузок

Предлагается методика выбора проводника ЛЭП для присоединения к объектам РГ в следующей последовательности:

- на первом этапе проводится выбор проводника не по экономической плотности тока, а по длительно допустимому току с учетом приведения повторно-кратковременной нагрузки к нагрузке в длительном режиме;
- на втором этапе выполняются проверки выбранного сечения провода по допустимому падению напряжения и на устойчивость параллельной работы с внешней ЭС.

Литература

1. **Безлапотнова Е.В.** Разработка методики расчета параметров основного обо- рудования системы передачи и распределения электроэнергии в энергосистемах с распределенной генерацией. М.:МЭИ
2. **Удинцев. Д. Н., Шошин М.Е.** Выбор числа и мощности генерирующего оборудования для энергоцентров в системах электроснабжения с распределенной генерацией // Вести в электроэнергетике. — 2018. — №4. — С. 38–43.1

А.Ю. Старкова, студ.; рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 110–220 кВ

Анализ отключений воздушных линий электропередачи (ВЛ) напряжением 110–220 кВ за период 2014–2019 г. выявил следующие причины аварийности ВЛ: несанкционированные работы в охранной зоне ЛЭП (36,1%); перекрытия на фольгированную ленту воздушных шаров (26,0%); воздействие птиц (11,8%); несвоевременное выявление и устранение дефектов [1] (7,8%); грозовые перенапряжения (7,6%); излишнее срабатывание релейной защиты (4,4%); прочие факторы (2,9%); причины не установлены (3,4%).

Предотвратить несанкционированные работы в охранной зоне ЛЭП не представляется возможным, поскольку постоянный контроль трассы ВЛ на всем их протяжении — наиболее затратное мероприятие. Перекрытия на фольгированную ленту воздушных шаров возможно предотвратить при соответствующей законодательной поддержке, в данный момент ведется совместная работа электросетевых компаний и законодательных органов. Отключения, вызванные воздействием птиц, также составляют значительную долю всех отключений ВЛ 110–220 кВ, их сокращение проводится путем применения специализированных устройств птицезащиты, однако полностью избежать их в данный момент невозможно, поскольку часть отключений происходит из-за наброса проволоки при пролете птиц над ВЛ.

Таким образом, при анализе всех причин отключений ВЛ выявлено, что наиболее целесообразно снижать число отключений, связанных с несвоевременным выявлением дефектов элементов ВЛ, для чего создается аппаратно-программный комплекс «Система оценки надежности воздушных линий электропередачи». Для возможности учета неисправностей элементов ВЛ создаются цифровые двойники ВЛ на базе системы автоматизированного проектирования, которые позволят моделировать совокупность неисправностей каждой конкретной опоры, проводить расчеты механической прочности [2] и оценивать возможность возникновения перерывов электроснабжения, связанных с отказами ВЛ и ее элементов.

Литература

1. РД 34.20.504–94. Типовая инструкция по эксплуатации линий электропередачи напряжением 35–800 кВ. М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2003.
2. **Крюков К.П., Новгородцев Б.П.** Конструкции и механический расчет линий электропередачи. Л., «Энергия», 1970.

А.А. Назаров, соиск.; рук. В.П. Кавченков, д.т.н., проф.
(Филиал НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТОЧЕК ДЕЛЕНИЯ СЕТИ С УЧЕТОМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

В региональных энергосистемах при проведении ремонтной кампании в сетях 220 кВ и выше могут возникать режимы работы, при которых не обеспечивается допустимая токовая нагрузка электрооборудования транзитов 110 кВ в аварийных режимах по детерминированному критерию *n* — 1 [1], что определяет необходимость обеспечить их превентивное размыкание. В настоящее время критерии выбора оптимальных точек размыкания транзитов электроэнергии с целью обеспечения надежности электроснабжения потребителей весьма субъективны, и часто основаны только на личных предпочтениях (опыте) лиц подающих диспетчерские заявки.

Для снижения неопределенности при принятии подобных решений авторами разработана методика, основанная на методе анализа иерархий [2], которая позволяет произвести декомпозицию проблемы на более простые составляющие и обработать возможные варианты методом попарных сравнений.

Для сравнения альтернативных вариантов размыкания транзита электроэнергии в методике предлагается использовать следующие показатели:

— частота отказов по элементам;

— дата последнего планово-предупредительного ремонта;

— наличие постоянного персонала или дистанционного управления на подстанции;

— величина отключенных потребителей при единичном отключении.

С использованием предлагаемой методики в работе проведены расчеты применительно к ремонтной схеме региональной энергосистемы.

Разработанная методика может быть использована службой расчетов электрических режимов диспетчерских центров для принятия решений по выбору наиболее оптимальных точек размыкания транзитов электроэнергии, что позволит снизить количество отключенных потребителей и время ликвидации нарушения нормального режима при аварийных отключениях воздушных линий 110 кВ, входящих в транзит.

Литература

1. **Г.Ф. Ковалев, Л.М. Лебедева.** Области использования и пределы применимости критерия n-i при формировании структуры и выборе параметров элементов ЭЭС. — Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, 1999. 68 с.
2. **Саати Т., Керис К.** Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991.

Секция 53.
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Председатель секции — Шведов Галактион Владимирович
Секретарь секции — Королева Елизавета Сергеевна

М.В. Бурмейстер, асп.; рук. Р.Р. Насыров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР ТИПА СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЯХ РОССИИ

В последние пять лет стремительно расширяется область применения систем накопления электроэнергии (СНЭ). На сегодняшний день известно более 1500 действующих проектов с СНЭ [1]. Лидерами в этом направлении являются Китай, США и Германия. В России, кроме трех ГАЭС, существуют только два реализованных проекта с применением СНЭ — использование литий-ионных батарей на подстанции Псоу в городе Сочи и суперконденсаторов в Московском метрополитене.

Некоторыми из перспективных направлений применения СНЭ в крупных городах являются снижение потерь электроэнергии, обеспечение надежности электроснабжения и сглаживание графиков нагрузки. При выборе типа СНЭ, помимо технико-экономических показателей, необходимо учитывать освоенность технологий и производственные возможности.

Цель работы заключается в определении типов СНЭ, наиболее эффективных к применению в городских агломерациях России на основе обзора мирового опыта применения СНЭ, анализа российского промышленного потенциала и эксплуатационных условий.

Сегодня в городских агломерациях мира установлено около 400 СНЭ, из которых 350 являются электрохимическими СНЭ, среди них самыми распространенными являются литий-ионные батареи — 110 объектов [1]. В мире на данный момент наиболее развиты электрохимические накопители электроэнергии и ГАЭС [2]. В России, согласно [3], наиболее развиты ГАЭС, литий-ионные батареи, супермаховики и суперконденсаторы. В условиях импортозамещения важен факт наличия российских производителей оборудования. На данный момент для России наиболее перспективным является развитие промышленной базы по производству литий-ионных накопителей электроэнергии [3].

Таким образом в результате проведенной работы было определено, что наиболее эффективными типами СНЭ для применения в городских агломерациях России являются литий-ионные АБ. Этот результат может быть использован при выборе типов СНЭ для объектов электроэнергетики.

Литература

1. DOE Global Energy Storage Database, https://www.energystorageexchange.org.
2. **F. Nadeem, P.K. Tiwari.** «Comparative Review of Energy Storage Systems, Their Roles and Impacts on Future Power Systems». IEEE Access, P. 32, 2019.
3. **И. Чаусов, И. Бурдин, И. Ряпин, Ю. Добровольский, Д. Корев.** «Рынок систем накопления электроэнергии в России: потенциал развития»: Экспертно-аналитический доклад под. ред. Ю. Удальцова и Д. Холкина, — 70 с, 2018.

Р.В. Булатов, асп.; рук. Р.Р. Насыров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЯХ РОССИИ

Системы накопления электроэнергии (СНЭ) — принципиально новая для электроэнергетики группа технологий, позволяющая существенным образом трансформировать электроэнергетику в крупных городах мира.

Основной проблемой, препятствующей масштабному использованию СНЭ, является их высокая стоимость, однако в области технологий накопления электроэнергии сегодня наблюдается очень быстрое развитие [1,2]. К примеру, приведенная стоимость хранения на жизненном цикле (*LCOS*), на основе данных из [3], должна к 2030 году по сравнению с 2018 годом снизиться для литий-ионных СНЭ с 550 до 200 долл. США за МВт·ч, а для проточных батарей — с 500 до 110 долл. США за МВт·ч, при этом ресурс работы таких батарей постоянно увеличивается. Другие технологии накопления электроэнергии также развиваются, но с меньшей интенсивностью. Устойчивое и быстрое улучшение технико-экономических характеристик накопителей энергии подогревает рост рынка, делая экономически целесообразным и все более эффективным применение СНЭ.

Целью работы являлось определение наиболее экономически эффективных направлений применения СНЭ в городских агломерациях России на основе анализа мирового опыта применения СНЭ, а также результатов инвестиционного моделирования проектов с использованием СНЭ.

В результате выполненной работы было определено, что применение СНЭ в городских агломерациях России экономически эффективно при управлении суточным профилем потребления электроэнергии в городском микрорайоне, в системах энергоснабжения жилых районов, при электроснабжении промышленных и коммерческих предприятий, при эксплуатации электрического транспорта и электромобилей, при электроснабжении жилого дома на постоянном токе, при замещении пиковой генерации, показано, за счет чего достигается экономический эффект. Для каждого направления применения СНЭ определены наиболее эффективные типы накопителей. Полученные результаты в дальнейшем можно использовать при внедрении СНЭ на объектах электроэнергетики России.

Литература

1. **И. Чаусов, И. Бурдин, И. Ряпин, Ю. Добровольский, Д. Корев.** «Рынок систем накопления электроэнергии в России: потенциал развития»: Экспертно-аналитический доклад под. ред. Ю. Удальцова и Д. Холкина, — 70 с, 2018.
2. DOE Global Energy Storage Database, https://www.energystorageexchange.org.
3. Lazard's Levelized Cost of Storage Analysis. Version 4.0 // Lazard. 2018.

Г.С. Казарян, студ.; рук. Р.Р. Насыров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

НОРМАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В данной работе исследуется влияние нормирования государственных стандартов на качество электроэнергии в электрической распределительной сети. Произведен сопоставительный анализ показателей качества электроэнергии (ПКЭ), которые по разному нормировались и трактовались на основании государственных стандартов РФ с 1967 года до текущего стандарта 2013 года. Начиная с 1987 года, соблюдение государственного стандарта стало обязательным и грозило ответственностью в случае его несоблюдения, а с 2012 года — соблюдение всех государственных стандартов стало носить рекомендательный характер.

В работе проводился анализ данных, полученных в результате измерений ПКЭ на шине 10 кВ трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ, по суммарному коэффициенту искажения формы кривой напряжения. С помощью интегральных величин — T_1T_2 = *(%)* были рассчитаны процентные соотношения выхода указанного коэффициента за нормально допустимое и предельно допустимое значения по стандартам 1987, 1997 и 2013 годов. Согласно полученным данным по T_1 и T_2 был сделан вывод, что при неизменной ситуации в электрической сети, результаты по несинусоидальности напряжения могут существенно отличаться от стандарта к стандарту.

Литература

1. «ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.» Электронный текст документа подготовлен и сверен по: официальное издание М.: Стандартинформ, 2014.
2. «ГОСТ 13109–67. Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии у ее приемников, присоединенных к электрическим сетям общего назначения.» Электронный текст документа подготовлен и сверен по: официальное издание М.: Стандартинформ, 2014.
3. «ГОСТ 13109–87. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения.» М.: Издательство стандартов, 1988.
4. «ГОСТ 13109–97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.» Электронный текст документа подготовлен АО «Кодекс» и сверен по: официальное издание М.: Стандартинформ, 2006.

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

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАТЕГОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Современной задачей электроснабжающих компаний является снижение числового значения индекса длительности перерывов в электроснабжении SAIDI. Добиться этого можно комплексным решением по снижению времени аварийно-восстановительных работ, созданием дополнительного источника резервного питания для потребителя или применением обоих вариантов вместе.

Одним из способов, применяемых в мире для повышения надежности электроснабжения, является использование сетевых накопителей электроэнергии (СНЭ). Целью работы была оценка целесообразности применения СНЭ как аналога резервной линии электропередачи для повышения категории надежности.

В рассмотренной модели в электрической сети необходимо было создать питание ПС 35/10 кВ от второго независимого источника для обеспечения требований категории надежности.

Создание второго независимого источника э/э на ПС 3 возможно двумя путями: либо реконструкцией сети 35 кВ, либо установкой СНЭ.

Технико-экономический расчет показал, что большую часть капиталовложения в сооружение СНЭ составляет стоимость литий-ионного аккумуляторного блока, однако издержки на его эксплуатацию ниже стоимости эксплуатации резервной линии 35 кВ.

Дисконтированные затраты на эксплуатацию СНЭ в течении 20 лет на 20,9% меньше, чем затраты на обслуживание резервной линии 35 кВ за аналогичный период.

Мировой опыт применения СНЭ в энергетике для различных задач, многолетний тренд снижения удельной стоимости накопителей и выполненные технико-экономические расчеты позволяют говорить, что СНЭ целесообразно рассматривать как альтернативное решение задачи создания резервной мощности и применять только при получении значительных технологических и экономических преимуществ.

Литература

1. **И. Чаусов, И. Бурдин, И. Ряпин, Ю. Добровольский, Д. Корев.** «Рынок систем накопления электроэнергии в России: потенциал развития»: Экспертно-аналитический доклад под. ред. Ю. Удальцова и Д. Холкина, — 70 с, 2018.
2. Frederic Lambert, BMW and Bosch open energy storage facility, https://electrek.co/2016/09/22/bmw-bosch-energy-storage-facility-built-from-batteries-from-over-100-electric-cars

Р.В. Булатов, асп., А.А. Самойлов, студ.,
рук. Р.Р. Насыров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», г. Москва)

НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РОССИИ

Системы накопления электроэнергии (СНЭ) являются важной частью технологической революции, которая изменит концепцию электроэнергетики, при этом важным вопросом при внедрении СНЭ является их нормативно-правовое обеспечение (НПО).

НПО, регламентирующее СНЭ, впервые было введено в США. Наиболее полно работу СНЭ регламентируют стандарты IEEE 1547 и IEEE 2030, описывающие использование СНЭ в сфере возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и Smart Grid систем и закрепляющие требования к техническим характеристикам и работе СНЭ в составе сети [1]. Также используются стандарты UL 1741, NFPA 70E и FERC 661, описывающие требования к выпрямителям и инверторам в составе СНЭ и требования к безопасности.

В России уже реализуются пилотные проекты с применением СНЭ, направленные на повышение качества и надёжности энергоснабжения, однако на данный момент отечественное НПО в сфере СНЭ является слабо развитым, в результате чего при проектировании и эксплуатации таких систем возникают неопределённости. Единственным документом, регламентирующим работу СНЭ, является ГОСТ Р 58092, включающий в себя термины и определения, а также требования к безопасности [2]. Субъекты электроэнергетики имеют собственное НПО, регламентирующие требования к СНЭ, однако они затрагивают применение СНЭ только в качестве источника постоянного тока на электрических подстанциях [3].

Целью данной работы является разработка предложений по развитию НПО СНЭ в России на основе анализа существующей нормативной документации, а также с учетом мирового опыта применения СНЭ.

В результате выполненной работы проведен анализ отечественного и зарубежного НПО в сфере СНЭ и представлены решения по улучшению российской нормативно-правовой базы. Результаты работы можно использовать при законодательном закреплении вопросов технического регулирования СНЭ и при разработке корпоративных технических стандартов.

Литература

1. **T. Basso.** «IEEE 1547 and 2030 Standards for Distributed Energy Resources Interconnection and Interoperability with the Electricity Grid»: National Renewable Energy Laboratory — 14c, 2016.
2. ГОСТ Р 58092.1–2018. Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Стандартинформ, 2018.
3. СТО 56947007–29.240.90.183–2014. Аккумуляторы и аккумуляторные установки большой мощности.

Н.А. Безрукова, студ.; рук. В.С. Осипов, к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ПУСКА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ СНИЖЕНИИ ПУСКОВЫХ ТОКОВ

Пусковой ток на основании Т–образной схемы замещения асинхронного двигателя, при скольжении s=1, определяется по формуле

$$I'_{2П} = \frac{U_{1Н}}{\sqrt{\left(R_1 + C_1 R'_2\right)^2 + \left(X_1 + C_1 X'_2\right)^2}}, \qquad (1)$$

где, для двигателя мощностью 11,0 кВт, R_1=0,46 Ом, X_1=0,624 Ом — активное и индуктивное сопротивления статора, R'_2=0.516 Ом, X'_2=0.996 Ом — приведённые к обмотке статора активное и индуктивное сопротивления обмотки ротора, C_1=1.046 — коэффициент, учитывающий потери напряжения от тока цепи намагничивания, $U_{1Н}$=220 В –фазное номинальное напряжение. В результате вычисления получено $I'_{2П}$=113,4 А.

Для упрощения дальнейших расчётов введём обозначения:

$$R_2 = R_1 + C_1 R'_2 = 1{,}0 \text{ Ом}, \quad X_2 = X_1 + C_1 X'_2 = 1{,}67 \text{ Ом}.$$

Одним из способов уменьшения пускового тока является включение асинхронного двигателя с параллельно включенными конденсаторами (рис. 1), на этом рисунке также показаны сопротивления питающего трансформатора R_3, X_3.

Эквивалентное сопротивление параллельной ветви

$$Z = \frac{\left(R_2 + jX_2\right)\left(-jX_C\right)}{R_2 + jX_2 - jX_C} = \frac{-jR_2X_C + X_2X_C}{R_2 + j\left(X_2 - X_C\right)} \qquad (2)$$

При $|X_C|=|X_2|$ получим: $Z = -jX_C + \dfrac{X_2X_C}{R_2} = -j1{,}67 + 2{,}79$;;

$Z = \sqrt{1{,}67^2 + 2{,}79^2} = 3{,}25$ Ом.

Пусковой ток будет меньше $I'_{2П} = 220/3{,}25 = 67{,}7$ *А*.

Так ли это будет в действительности. Целесообразно рассчитать переходные процессы при замыкании s. Ток I_1 равен сумме токов принужденной и свободной составляющей. Установлено, что величина свободной составляющей наименьшая, когда напряжение включается в момент перехода синусоиды через нуль. В противном случае пусковой ток может не уменьшиться. Другим вариантом расчёта является включение индуктивности последовательно с ёмкостью.

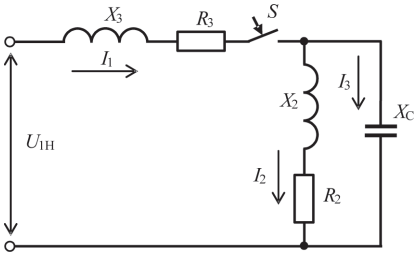


Рис. 1. Расчетная схема

А.С. Щепотин, асп.; рук. Г.В. Шведов, к.т.н., доц (НИУ «МЭИ»)

О ПРОБЛЕМАХ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА НАГРУЗОЧНЫХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПРОВОДАХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Расчет нагрузочных потерь электроэнергии в проводах воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) проводится при решении ряда задач, таких как: определение экономически целесообразного варианта схемы сети; оптимизация режимов сети; установление тарифа на электроэнергию; определение коммерческой составляющей потерь и др. Важной проблемой является возникновение погрешности расчета из-за пренебрежения некоторыми влияющими факторами.

Рассматриваемые потери зависят от протекающего тока и активного сопротивления проводов, которое в свою очередь меняется при изменении температуры провода. В [1] указано, что температура провода может приниматься равной либо температуре воздуха, либо 20°С в зависимости от имеющихся данных. Эти допущения влекут за собой возникновение погрешностей, размер которых может достигать 16–18% [2], так как не учитывается нагрев провода протекающим током и воздействие метеорологических факторов.

Существующие методики определения температуры провода не позволяют решить задачу повышения точности инженерных расчетов потерь в проводах ВЛЭП, так как требуют исчерпывающих данных о погоде, сложны и объемны в вычислительном плане. Поэтому был разработан способ корректирующих коэффициентов, который учитывает климат местности и очень прост для практического использования. Применение предлагаемого способа сводится к умножению значения потерь, рассчитанных «традиционным» способом, на заранее определенный коэффициент.

Разработанный способ позволяет снизить математическое ожидание погрешности расчетов нагрузочных потерь электроэнергии в проводах ВЛЭП и не требует никаких дополнительных данных кроме тех, что и так известны при «традиционных» расчетах, что является его главным достоинством.

Литература

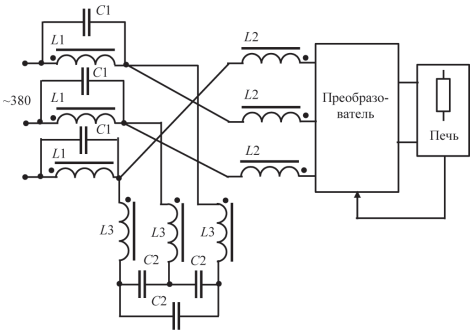
1. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 года №326 «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям» (с изменениями от 1 февраля 2010 года).
2. **Шведов Г.В., Щепотин А.С.** Анализ погрешностей расчетов нагрузочных потерь электроэнергии в проводах воздушных линий электропередачи // Вестник МЭИ. 2017. №6. С. 75–85.

И.Н. Азюкова магистрант; рук. В.С. Осипов, к.т.н., доц., (Сам. ГТУ г. Самара)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ПЕЧИ НАГРЕВА СОПРОТИВЛЕНИЕМ ПРИ ПЛАВНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Стабилизация температуры печи нагрева сопротивлением может производится за счёт позиционного и плавного регулирования. В системе позиционного регулирования имеется релейный элемент с петлевой характеристикой, что снижает точность стабилизации температуры. Если в термическом цехе имеется мощная отпускная печь, например 150 кВт, а мощность цехового трансформатора 630 кВА, то будут наблюдаться колебания напряжения при включении и отключении печи до 1,5%, что создаёт явление фликера в осветительной сети.

При плавном регулировании с помощью тиристорного преобразователя, за счёт изменения угла открывания тиристоров, уменьшаются погрешности стабилизации температуры и уменьшаются колебания напряжения. Однако при этом образуются в сети нечётные высшие гармоники. Для фильтрации и снижения амплитуды высших гармоник предлагается включать преобразователь печи через линеатор, показанный на рисунке.



Обмотки $L1$ и $L2$ включены встречно на одном сердечнике. Эквивалентное сопротивление цепи $L1$, $L2$, $C1$ будет:

$$Z = \frac{j\omega L_1\left(-j\dfrac{1}{\omega C_1}\right)}{j\omega L_1 - j\dfrac{1}{\omega C_1}} - j\omega L_2 .$$

$$Z = j\frac{\omega\left(L_1 + \omega^2 L_1 L_2 C_1 - L_2\right)}{1-\omega^2 L_1 C_1} .$$

Очевидно, что для первой гармоники должно быть Z=0 или

$$L_1 + \omega^2 L_1 L_2 C_1 = L_2 ; \qquad \frac{L_2 - L_1}{C_1} = \omega^2 L_1 L_2 ;$$

Если L_2=0,05 Гн, C_1=100·10^{-6} ф, ω=314 рад/с, получим L_1=0,033 Гн.

При пятой гармонике будет Z=611,8 Ом, что ограничивает проникновение высших гармоник в сеть. третья гармоника фильтруется элементами L_3, C_2 исходя из равенства $6\omega L_3 = \dfrac{1}{3\omega C_2}$ „ где ω=314 рад/с.

М.М. Сергеева, студ.; рук. Д.Н. Удинцев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ЦЕЛЬЮ РАЗРЕШЕНИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ В РЕЖИМАХ ПРЕДЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ РАЗВИТИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ

В настоящее время существует большое количество предпосылок возникновения аварийных ситуаций в электроэнергетической системе, имеющих как прогнозируемый, так и случайный характер.

Основной решаемой задачей является повышение надежности электроснабжения потребителей за счет предотвращения возможного развития аварий; для ее решения предлагаются следующие пути: временное повышение пропускной способности системы передачи и распределения электроэнергии (СПиРЭЭ) в условиях чрезвычайных ситуаций, применение качественных методов диагностики электросетевого оборудования, создание математической модели электроэнергетической системы (ЭЭС).

Первый блок предлагаемого технического комплекса предназначен для повышения пропускной способности СПиРЭЭ за счет учета суммарной термической нагрузки отдельных элементов сетей и их фактического состояния, что достигается в результате возможности работы элементов ЭЭС в режиме перегрузки дополнительный отрезок времени, необходимый для ликвидации аварии или восстановления работоспособности поврежденных элементов [1].

Второй блок предлагаемого комплекса устанавливается на наиболее часто отключаемых элементах сети. Предназначен для контроля параметров оборудования и их систематизированного анализа с целью формирования предельных значений пиковой нагрузки. Существует необходимость выявить наиболее важные для диагностики параметры и оптимальную периодичность их измерения.

Третьим блоком предлагаемого технического комплекса является внедрение технологии цифровых сетей на уже существующих подстанциях. Проектирование и конфигурирование энергообъекта на языке SQL позволит создать математическую модель и базу знаний данного объекта. Это даст возможность структурировать поступающую с контролирующего оборудования информацию, повысить скорость и качество ее обработки, а также сделает возможным качественный анализ поступающих данных.

Литература

1. **Удинцев Д.Н., Шведов ГВ., Милованов П.К.** Предотвращение развития аварийных ситуаций в электроэнергетической системе за счет гибкого регулирования потребления электроэнергии. Печатный. Электроэнергия. Передача и распределение. — 2019. — №5(56). С. 58–64.

Заровняев В.П., А.Б. Мерзликин, студ.;
рук. Д.Н. Удинцев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИНТЕГРАЦИЯ БИОЭНЕРГЕТИКИ В СУЩЕСТВУЮЩУЮ ЭНЕРГОСИСТЕМУ РФ КАК ОБЪЕКТА РГ

Одним из слабо используемых в РФ ресурсов для развития энергосистемы является переработка ТБО и других продуктов жизнедеятельности человека для производства электроэнергии. Использование биогаза из отходов жизнедеятельности человека может найти применение в развитии распределённой генерации. Это согласуется и с компанией по переработке бытовых отходов, проводимой в настоящее время в нашей стране [1].

Известно, что из полного комплекса отходов жизнедеятельности человека можно получить до 50% потребляемой им электроэнергии [2].

Очевидно, что в районах существуют жилые застройки, реализовать технологию получения биогаза из отходов жизнедеятельности человека, выработку ЭЭ, интеграцию ЭЦ, работающего на биогазе в существующей энергосистеме — крайне затруднительно. Учитывая высокий темп жилищного строительства в России, целесообразно начать внедрение данной технологии именно в новостройках, отработав технологию на базе и совместно с одним из крупных застройщиков. Хорошей площадкой для реализации данного направления может послужить Новая Москва. Авторами разработана методика по расчёту мощности энергоцентра, работающего на биогазе.

Кроме того, необходима разработка карты РФ с ресурсами для выработки биогаза на основе переработки продуктов жизнедеятельности человека; оценка общего потенциала развития данного направления энергетики и возможного вклада в общий объем вырабатываемой электрической энергии.

Таким образом., внедрение проектов по биоэнергетике позволит повысить надежность, создав дополнительный источник для потребителей первой категории жилых комплексов, сгладит график нагрузки, а также поможет снизить нагрузку на транспортную инфраструктуру.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 января 2018 г. №84-р.
2. **Мерзликин А.Б.** «Методика расчета мощности энергоцентра жилого комплекса, работающего на биогазе из отходов жизнедеятельности человека».

Д.А. Рыбаков, аспирант НИУ МЭИ;
А.С. Школьников, инженер (Данфосс, Москва)

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ, СОДЕРЖАЩИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Гармоническое напряжение точке в сети питания определяет риск возмущения нагрузки в этой точке.

Часть этого напряжения, которая возникает в результате нагрузки, создающей гармоники, вызвана падением напряжения от импеданса источника питания, вызванным отдельными токами гармоник, генерируемыми нагрузкой. [1]

Ток в линии неуправляемых диодных выпрямителей имеет полное гармоническое искажение (THDi) не менее 80%. Это высокое значение искажения недопустимо в большинстве применений (в частности преобразователями частоты). Уровень подавления гармоник зависит от конкретной электротехнической установки и гармонических стандартов, которым должна соответствовать установка. [2]

Вообще говоря, помехи в сети от электронных компонентов питания может быть уменьшен путем ограничения амплитуды импульсных токов. Это улучшает коэффициент мощности λ (лямбда). Чтобы избежать чрезмерного ухудшения качество электропитания, разнообразного отклонения или компенсации, могут быть использованы системы и устройства, которые генерируют гармоники:

— Дроссели на входе или в звене постоянного тока преобразователей частоты;
— Технология Slim DC Link;
— 12, 18 или 24-пульсные выпрямители;
— Пассивные фильтры AHF 005 и AHF 010;
— Активные фильтры AAF;
— Технология Active Front End. [3]

Литература

1. Managing Harmonics. A guide to ENA Engineering. Recommendation G5/4–1. The GAMBICA Association Ltd Broadwall. House 21, Broadwall, London, 2011 (Управление гармониками. Руководство по ENA Engineering. Рекомендация G5/4–1. Ассоциация GAMBICA Ltd Broadwall. Дом 21, Бродволл. Лондон, 2011)
2. Facts Worth Knowing about Frequency Converters. Danfoss A/S, 2014 (Факты, которые стоит знать о преобразователях частоты. Danfoss A / S, 2014)
3. HVAC & Refrigeration applications. Facility services design and project engineering of electrical drives. Danfoss A/S, 2014 (ОВК и холодильные применения. Решения по проектированию электроприводов. Danfoss A / S, 2014)

А.Ю. Герасимюк, Н.В. Смоковенко, студенты;
рук. Р.Р. Насыров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПОДХОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ФАКТИЧЕСКОГО ВКЛАДА ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В ИСКАЖЕНИЕ СИНУСОИДАЛЬНОСТИ ФОРМЫ КРИВОЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Надежное функционирование электроприемников потребителей, их производительность и эффективность работы во многом зависит от качества питающего напряжения. При этом качество электроэнергии (КЭ) на зажимах электроприемников определяется в большей степени их работой. Влияние тех или иных электроприемников в снижение показателей КЭ в узлах электрической сети оценивается по фактическому вкладу электроприемников [1, 3].

В работе делается попытка применения метода расчета электрических цепей с нелинейными параметрами для оценки фактического вклада потребителя в искажение формы кривой напряжения. Подход к решению поставленной задачи заключается в моделировании электрической цепи, содержащей нелинейную нагрузку, при этом параметры схемы сети задаются не константами, а их вольтамперными характеристиками (ВАХ) [2]. В качестве параметров режима, при оценки фактического вклада, задаются значения токов и напряжений, измеряемые в определенных ветвях и узлах сети в темпе процесса.

В результате показано, что применение указанного выше метода позволяет производить оценку вклада в искажение формы кривой напряжения по мгновенным значениям сигналов тока и напряжения в точке присоединения потребителей условно ввиду ограничений. Показаны ограничения и область применения подхода к оценке фактического вклада потребителей в искажение кривой напряжения.

Результаты, полученные в ходе исследования, подтверждают возможность использования данного метода для решения поставленной задачи. Это дает возможность оценить влияние каждого конкретного фидера на качество электроэнергии.

Список литературы

1. **И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов, Ю.В. Шаров, Р.Р. Насыров** Управление качеством электроэнергии. АО «Издательский дом МЭИ», 2017.
2. **Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов** Основы теории цепей. Энергоатомиздат,1989
3. ГОСТ 32144–2013 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

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

РАЗРАБОТКА ПЛАНА ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В КАБЕЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ С ЦЕЛЬЮ БЕСПЕРЕБОЙНОСТИ ПОСТАВКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПОТРЕБИТЕЛЯМ

Ликвидация аварий в электроэнергетике и создание надежной послеаварийной схемы имеет ключевое значение для бесперебойной поставки электроэнергии потребителям. Основой обеспечения потребителей электрической энергией являются надежная схема энергоснабжения и выполнение всех требований правил технической эксплуатации электростанций и сетей [1].

Большая часть оборудования и линий электропередачи в филиала ПАО «МОЭСК» Московские кабельные сети спроектирована по требованиям, которые были актуальны десятилетия назад и имеют неудовлетворительное техническое состояние, что является одной из основных причин возникновения аварийной ситуации [3]. В первую очередь для предотвращения технологических нарушений, а также для возможности цифровизации электроэнергетических систем, необходима замена старого оборудования на новое, оснащенное приборами телемеханики. Это предоставит возможность применять программные комплексы для формирования оптимального плана ликвидации повреждения. Применение программных комплексов позволит рассчитать и выбрать оптимальный план ликвидации технологического нарушения с минимальным временем, затрачиваемым на локализацию отключенного участка электрической сети и отключившегося коммутационного аппарата, так же позволит создать надежную схему электроснабжения потребителей.

Реализация на практике данных задач, позволит значительно уменьшить количество аварий, устранять технологические нарушения за минимально возможное время, обеспечит соответствие требованиям надежности и безопасности в кабельных распределительных сетях. [2]

Литература.

1. Компьютерная справочная правовая система в России URL: http://consultant.helpline.ru/
2. Инструкции VII-Б Филиала ПАО «МОЭСК» Московские кабельные сети.
3. Техническая документация РЭР Филиала ПАО «МОЭСК» Московские кабельные сети (карты РП, ТП).

Е.А. Безродный, М.Я. Головатый, А.В. Чуркин, студенты;
рук. В.С. Добуш, к.т.н, доц. (СПГУ, Санкт-петербург)

СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРИ РАСЧЕТЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ

В связи с повсеместным использованием в системах электроснабжения предприятий частотно регулируемого электропривода (ЧРП), который является нелинейным потребителем электроэнергии и включает в себя как выпрямительное устройство, так и инвертор, в сети возникают искажения напряжения и токов, вызванные высоким уровнем высших гармоник (ВГ). Данное явление приводит к насыщению сети токами ВГ, из-за чего возникает ряд негативных последствий, таких как, ускоренное старение изоляции, ложное срабатывание защиты, перегрузка электрооборудования по току, выход из строя оборудования и т.п.

Поэтому для повышения эффективности систем компенсации ВГ, систем измерения электрической энергии и работы электрических сетей в целом, необходимо при расчетах учитывать влияние возникающих несинусоидальных режимов. Помимо этого, важным параметром, который раньше [1] не учитывался при расчетах несинусоидальных режимов, является уровень загрузки электропривода.

В ходе данной работы с помощью портативного осциллографа Fluke 125b были сняты осциллограммы токов и напряжений одной фазы трехфазной сети, питающей ЧРП, состоящего из исследуемого преобразователя частоты Schneider Electric Altivar 312 ATV312HU55N4B, который управлял подключенным к нему асинхронным двигателем (АД), жестко соединенным с синхронным генератором, который был подключен как к линейной, так и нелинейной нагрузке в виде диодного выпрямителя, для создания различной нагрузки на АД.

В результате обработки полученных из осциллограмм данных методом гармонических составляющих средствами программы MATLAB и встроенного в нее пакета Simulink была разработана схема замещения частотного преобразователя с учетом фазовых соотношений на высших гармониках, характеризующих сдвиг фаз между напряжением и током на разных гармониках в питающей сети. Разработанная схема, параметры которой основаны на полученных экспериментальных данных, позволит с высокой точностью рассчитывать несинусоидальные режимы.

Литература

1. **Железко Ю.С.** Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов, М.: ЭНАС, 2009 г. — 456с.
2. **Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л.** Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 2000 г. — 252 с.

Секция 54.
ИСТОРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

Председатель секции — Тульский Владимир Николаевич
Секретарь секции — Тульский Владимир Николаевич

А.А. Самойлов, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

КРИОТУРБОГЕНЕРАТОР КТГ-300 И ЕГО РОЛЬ В РАЗВИТИИ ТЕХНОЛОГИЙ СТРОЕНИЯ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ УСТАНОВОК

Возрастающие потребности в электроэнергии требуют постоянной модернизации генерирующих мощностей. Основной вектор развития генераторостроения — повышение единичной мощности каждого генератора, что можно осуществить двумя способами: увеличением линейных размеров генератора и совершенствованием систем охлаждения. Увеличение линейных размеров достигло своего предела из-за ограничений по прочности стандартных материалов, поэтому дальнейший рост единичной мощности обеспечивается увеличением эффективности систем охлаждения.

Советские ученые одними из первых начали доводить обмотки генераторов до низких температур, в том числе до температур, обеспечивающих сверхпроводящее состояние. Строение сверхпроводниковых силовых машин могло обеспечить огромный экономический эффект: подобные разработки велись также в США, ФРГ, Японии и Франции. По сравнению с генераторами традиционных конструкций, КТГ-300 обещал обеспечивать более высокий КПД, меньшие массу и размеры [1].

Разработка, создание и испытания КТГ-300 велись в Ленинграде, на заводе «Электросила» (на данный момент ПАО «Силовые машины»).

Имеются основания считать, что за основу КТГ-300 была взята конструкция предшествующего генератора — КТГ-20. Обмотка ротора генератора представляет собой матрицу из меди, в которую включены сверхпроводящие жилы из Nb-Ti. Охлаждение обмотки ротора осуществлялось жидким гелием [2].

Новинки, разработанные при проектировании и строительстве КТГ-300, были использованы при создании более совершенных сверхпроводниковых установок: токамаки, используемые для термоядерного синтеза, также создавались на заводе «Электросила».

Литература

1. **Н.А. Лабунец, А.П. Лохматов.**; Итоги науки и техники. Серия: Электрические машины и трансформаторы. Том 4: Сверхпроводниковые трубогенераторы.; Москва, 1984 г.
2. **Глебов И.А., Данилевич Я.Б., Шахтарин В.Н.** Турбогенераторы с использованием сверхпроводимости.; Л., «Наука», 1981, 231 с.

С.А. Куделина, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ПРИБОР ДЛЯ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ЗАТОЧКИ ХИРУРГИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ: ИСТОРИЯ

Активное развитие электроэнергетики в начале 20-го века создало основу для совершенствования и внедрения новых технологий в промышленности России. Увеличение производства электроэнергии сделало возможным применение таких энергоемких технологий как электролиз [1]. Автором данного открытия является английский физик-экспериментатор Майкл Фарадей. Уже из первых исследований стало ясно, что электролиз имеет огромное практическое значение. Сегодня электролиз применяется для получения чистых металлов из руд (цинк, медь, кадмий), для очистки металлов от примесей, очистки сточных вод. На основе электролиза построен принцип действия прибора для электролитической заточки хирургических инструментов, который стоит на стыке медицины, химии и физики.

Данный прибор был изготовлен в 1969 году на базе московского экспериментального завода «Технолог», на котором выпускались первые отечественные аппараты наркоза, аппараты для обезболивания родов и ряд другой медицинской техники. Питание производится только от сети переменного тока напряжением 127 или 220 В. Схема прибора включает в себя селеновый выпрямитель, реостат с подвижным контактом, реле, нагревательные элементы и др. [2] Для использования прибора нужно подготовить электролит, состоящий из трех компонентов, взятых в определенной пропорции, подготовить сам затачиваемый инструмент, строго придерживаться определенного режима заточки, а затем следить за состоянием электролита, т.к. он является многоразовым. Электролитической заточке подвергались инструменты многоразового использования, но они не всегда обеспечивали надлежащую гигиеничность медицинских манипуляций. Многоразовые инструменты сейчас всё чаще заменяются инструментами однократного применения, обладающими массой преимуществ. Использование одноразовых инструментов существенно снижает возможность распространения инфекций, повышает безопасность пациента и врача, упрощает и ускоряет процесс предварительной подготовки и эксплуатации инвентаря, снижает затраты на хранение и проведение дезинфекционных мероприятий.

Литература:

1. **Хомяков В.Г., Машовец В.П., Кузьмин Л.Л.** Технология электрохимических производств. Москва, 1949 г
2. Московский экспериментальный завод «Технолог» Прибор для электролитической заточки медицинского инструмента. Москва, 1967г

Секция 55.
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Председатель секции — Гусев Юрий Павлович
Секретарь секции — Косарев Сергей Алексеевич

А.В. Захаров, студ.; рук. О.Ю. Гусев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ МЭК 61970 В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

МЭК 61970–301 предлагает абстрактную модель (common information model — CIM) [1], которая позволяет описать основные элементы электроустановок. Тем самым предоставляет возможность стандартизации представления электроустановок, их атрибутов и связей. Такая стандартизация облегчает обмен данными между программным обеспечением (ПО) от разных производителей, используемого при проектировании и эксплуатации электроэнергетических систем, генерации и распределения электроэнергии.

Целью работы было исследование возможности передачи данных из системы автоматизированного проектирования по выбору структурной схемы тепловой электрической станции (ТЭС) в стороннее программное обеспечение для расчетов потокораспределения, токов короткого замыкания (КЗ), надежности. Задачами исследования являлись описание основного оборудования и топологии главной схемы ТЭС в виде, соответствующем CIM, представление модели в формате XML-RDF, отвечающего положениям МЭК 61970–501 [2] и МЭК 61970–552 [3].

Реализация поставленных задач была осуществлена с помощью языка программирования Python, для которого на данный момент существует несколько библиотек, основанных на МЭК 61970 и облегчающих создание файлов в формате XML-RDF.

Была описана схема, содержащая 4 энергоблока мощностью 320 МВт каждый, подключенных к распределительному устройству 500 кВ и выдающих мощность в энергосистему по двум линиям электропередач, преобразована в формат XML-RDF и передана в ПО PSS Sincal. В результате импорта модели в PSS Sincal была получена структурная схема, содержащая заданные параметры оборудования и имеющая графическое представление, что позволило провести расчет токов КЗ.

Литература

1. IEC 61970–301:2016 Energy Management System Application Program Interface (EMS-API) — Part301: Common information model (CIM) base, IEC, Edition 6.0, 2016.
2. IEC 61970–501:2006 Energy management system application program interface (EMS-API) — Part 501: Common Information Model Resource Description Framework (CIM RDF) schema, IEC, Edition 1.0, 2006.
3. IEC 61970–552:2016 Energy management system application program interface (EMS-API) — Part 552: CIMXML Model exchange format, IEC, Edition 2.0, 2016.

А.А. Тимофеев, А.А. Самойлов, студенты;
рук. Н.Н. Смотров, ассистент (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ПО GuPlanAC ДЛЯ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ПО ГОСТ Р 52735–2007 В РАМКАХ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Современные программные комплексы, такие как NEPLAN и ETAP, дают возможность автоматизировать и упростить расчет токов короткого замыкания (КЗ). В последнее время возникла необходимость развития отечественного программного обеспечения (ПО), которое учитывает действующие стандарты РФ [1]. Также актуальными проблемами являются учет электрической дуги при расчете токов КЗ и расчет токов КЗ в произвольный момент времени. Данным требованиям в нашей стране соответствует ПО GuPlanAC [2], разработанное на кафедре «Электрические станции» НИУ «МЭИ».

В данном исследовании целью являлось повышение качества проектных решений на примере курсового проектирования. Был произведен расчет токов КЗ в ПО GuPlanAC согласно ГОСТ Р 52735–2007 для выбора первичного оборудования ТЭЦ. В работе была произведена верификация расчетной модели схемы ТЭЦ с паротурбинными установками мощностью 3х63 МВт, которая проводилась по оценке расхождения результатов действующего значения периодической составляющей тока КЗ в начальный момент времени, ударного тока КЗ и постоянной времени затухания апериодической составляющей тока КЗ, полученных при расчете в ПО, и результатами ручного расчета.

Табл. 1. Сравнение результатов

Параметры	Ручной расчет	Расчет в ПО GuPlanAC
IK, кА	10.187	9.496
Iуд, кА	24.168	23.002
Ta, с	0.027	0.03

Результаты расчетов, приведенные в табл. 1, показали, что расхождения от токов КЗ, которые были рассчитаны без ПО составляют менее 7%. На основе проделанной работы можно сделать вывод, что применение ПО GuPlanAC в рамках курсового проектирования является обоснованным: оно уменьшает сроки проектирования, снижает вероятность ошибок, как следствие, повышает качество проектных решений.

Литература

1. ГОСТ Р 52735–2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ.
2. Руководство к ПО GuPlanAC / [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://es.mpei.ac.ru/GuFiles/GuPlanAC. zip Дата обращения: 09.11.2019.

Д.С. Доброхотов, студ.; рук-ли О.Ю. Гусев, ст. преп;
С.А. Косарев, асп. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПАС-3D ПРИ РАЗРАБОТКЕ САПР В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

В настоящее время при подготовке проектных решений и проектной документации в электроэнергетике важную роль играют системы автоматизированного проектирования (САПР). Внедрению САПР значительное внимание уделяют крупные отечественные электроэнергетические компании (например, [1]), при этом отмечается малое число САПР отечественной разработки. Целью проведённой работы было исследование возможности применения существующих программных средств (в частности, программы КОМПАС-3D) при разработке новых САПР для нужд электроэнергетики. Непосредственными задачами, решаемыми в ходе выполненной работы, были разработка простейшего САПР, работающего совместно с КОМПАС-3D, предназначенного для автоматизации подготовки проектной документации по электрической части электрических станций/подстанций, а также анализ особенностей совместного функционирования программ. В качестве дополнительной задачи рассматривались вопросы применения разработанной САПР в рамках обучения студентов в ВУЗах по направлению «Электроэнергетика и электротехника».

Для решения поставленных задач на языке программирования Python был написан код программы САПР, осуществляющей совместно с учебной версией КОМПАС-3D подготовку электрической схемы распределительных устройств 110–750 кВ на основании исходных данных, вводимых пользователем. В ходе выполненной работы было показано, что совместное применение программ разработанного САПР и КОМПАС-3D может быть эффективно для увеличения качества подготовки проектных решений и проектной документации, однако может приводить к увеличению продолжительности подготовки проекта (по сравнению со временем работы САПР без КОМПАС-3D).

Полученные результаты могут быть применены как при обучении студентов ВУЗов, так и при разработке новых САПР для нужд электроэнергетики.

Литература

1. Программа инновационного развития ПАО «ФСК ЕЭС» на 2016–2020 годы с перспективой до 2025 года. Приложение 3 к Протоколу №370 заседания Совета директоров ПАО «ФСК ЕЭС» 07.06.2017. [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/2017_PIR_FSK_2016-2020-2025. pdf, свободный, дата обращения 05.12.2019.

И.А. Красилов, студ.; рук. О.Ю. Гусев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ ПО РАСЧЕТУ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В СРЕДЕ PSS SINCAL ДЛЯ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ

Действующие в России нормативные документы по расчету токов короткого замыкания (КЗ) и выбору электрооборудования (ЭО) имеют ряд отличий от стандартов по расчету токов КЗ МЭК. Некоторые зарубежные производители программного обеспечения (ПО) заявляют возможность расчета токов КЗ по методике ГОСТ, однако параметризация элементов схемы отличается от отечественной. Наиболее значимые отличия проявляются при расчете в электроустановках (ЭУ) напряжением до 1 кВ.

Проведенный обзор литературы выявил недостаточное освещение данного вопроса. Это обуславливает необходимость разработки методических указаний (МУ) для расчетов токов КЗ в ПО, разработанном за рубежом и применяемом отечественными проектными организациями, например, ПО PSS Sincal (компания Siemens, Германия).

Разработанные МУ описывают применение PSS Sincal для расчета сопротивлений воздушных линий, расчета начального значения периодической составляющей и ударного тока симметричных и несимметричных КЗ в высоковольтных ЭУ и распределительных сетях. МУ описывают различия методик расчета токов КЗ по ГОСТ и МЭК. В МУ приведены типичные диапазоны значений параметров элементов, что позволяет оценить корректность введенных данных. Также было проведено сравнение значений токов КЗ, полученных по методике ГОСТ ручным расчетом и в ПО PSS Sincal, а также по методике МЭК. Получены следующие результаты: относительные погрешности расчетов $\delta_{\text{ГОСТ-ГОСТ}} \leq 5\%$, $\delta_{\text{ГОСТ-МЭК}} > 5\%$, что свидетельствует о применимости ПО PSS Sincal в соответствие с ГОСТ по расчету токов КЗ. МУ могут быть использованы в прикладных целях для выбора ЭО. На основе разработанных МУ также были подготовлены лабораторные работы по курсу «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах».

Литература

1. ГОСТ Р 52735–2007 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. М.: Стандартинформ, 2007.
2. IEC 60909 Short-circuit currents in three-phase a. c. systems. [Электронный ресурс] // IEC. URL: www.iec.ch/catlg-e. htm (дата обращения: 10.09.2019).
3. ГОСТ 28249–93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. М.: Издательство стандартов, 1994.

А.Д. Клыков, студ.; рук. А.А. Антонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ ВДОЛЬ ПОВРЕЖДЕННОГО КАБЕЛЯ В СЕТЯХ 6–10 кВ

Для кабельных сетей 6–10 кВ с изолированной или компенсированной нейтралью допускается отключение однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) в течение 2 часов [1]. По информации от специалистов кабельных сетей, в результате воздействия токов ОЗЗ обнаруживалось перемещение дугового столба в поврежденном кабеле 6–10 кВ в сторону источника питания на десятки метров. Целью данной работы являлось исследование причин продольного перемещения электрической дуги вдоль КЛ и оценка материального ущерба от данного явления.

Была разработана расчетная модель электродугового процесса при ОЗЗ в одножильном экранированном кабеле с изоляцией из сшитого полиэтилена в программном комплексе *ELCUT*. Выполнено моделирование нестационарного теплового поля в жильной изоляции кабеля вблизи места возникновения ОЗЗ с продольным распространением электрической дуги вдоль кабеля в течение времени от начала ОЗЗ до момента его отключения оперативной выездной бригадой электрических сетей (2 часа). По итогам работы было установлено, что ОЗЗ в диапазоне малых токов (20…100 А) не успевает прожигать оболочку кабеля, электрическая дуга начинает перемещаться от исходной точки в сторону источника питания, выжигая жильную изоляцию кабеля между жилой и экраном. По результатам расчета на математической модели средняя скорость перемещения дугового столба ОЗЗ при токе ОЗЗ 100 А составила 13 метров в час. Таким образом, за время ОЗЗ в сети 6–10 кВ длина поврежденного участка кабеля — 26 м, что эквивалентно 40 тыс. рублей дополнительного ущерба от ОЗЗ. При возникновении ОЗЗ на концевой муфте кабельной линии (КЛ) повреждается (выгорает) ячейка выключателя КЛ на питающей подстанции, замена которой составит около 900 тыс. рублей. Результаты данного исследования подтверждают актуальность вопроса изменения режима нейтрали сети 6–10 кВ с изолированного (компенсированного) на резистивно-заземленный, либо уменьшения допустимого времени существования ОЗЗ в действующих сетях 6–10 кВ с изолированной и компенсированной нейтралью.

Литература

1. Приказ Минэнерго РФ от 19 июня 2003 г. N 229 «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации». [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://docs.cntd.ru, свободный, дата обращения 14.11.2019.

В.В. Иванов, студ.; А.В. Коваленко, асп.; рук.
С.Н. Ткаченко, к.т.н., доц.(ДонНТУ, Донецк)

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ И ДИАГНОСТИКИ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Бесперебойность работы электрической станции зависит от надёжной работы механизмов системы собственных нужд, ключевым элементом которой являются электроприводные асинхронные электродвигатели (АЭД) с короткозамкнутым ротором (КЗР) номинальной мощностью до 8000 кВт [1, 2]. Несмотря на относительную простоту конструкции и надёжность, повреждаемость АЭД с КЗР составляет порядка 25% за один год от общего количества используемых машин [2]. Одной из причин преждевременного выхода из строя АЭД с КЗР является некорректная работа устройств релейной защиты и автоматики (РЗиА) в ряде анормальных и аварийных режимов, как например, несимметричные режимы или нарушение охлаждения. Повысить надёжность АЭД с КЗР возможно путём развития цифровых систем диагностики и РЗиА, например, за счёт модернизации алгоритмов тепловых защит (ТЗ).

В работе был использован алгоритм ТЗ, приведенный в [2], базирующийся на косвенном определении температуры нагрева обмотки КЗР на основе измерения параметров текущего режима (мгновенные значения фазных токов, напряжений и скольжения). Данный алгоритм ТЗ усовершенствован за счёт введения дополнительного усреднения измеряемых параметров, и опробован на экспериментальном стенде с использованием эмулятора цифрового терминала на основе платы L–Card® 783M. По результатам проведенного опыта подачи пониженного напряжения на статор при заторможенном роторе температура нагрева КЗР, определённая по алгоритму, составила 49,2 ^{0}C. При этом реальная температура КЗР, измеренная термодатчиком, составила 47,5 ^{0}C, что входит в диапазон ±5%. Значение косвенно определяемой температуры может быть использовано в алгоритме расчёта срока службы АЭД в качестве элемента диагностики.

Литература

1. **Старшинов В.А., Пираторов М.В., Козинова М.А.** Электрическая часть электростанций и подстанций [Учебное пособие] — Под ред. В.А. Старшинова. — М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 296 с;
2. **Сивокобыленко В.Ф., Ткаченко С.Н.** Совершенствование систем диагностики и релейной защиты электрооборудования собственных нужд электростанций на основе информационных технологий / Электрические станции. — 2016. — №8 (1021). — С. 46–52.

Д.Д. Сикачева, студ.; рук. Г.Ч. Чо, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ ГИБРИДНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПО КРИТЕРИЯМ НАДЕЖНОСТИ И МИНИМУМА КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЙ

На территории России существуют удаленные регионы, где стоимость электроэнергии высока из-за преимущественного использования источников малой генерации, работающих на привозном топливе. Необходимость повышения технико-экономических показателей таких систем определяет интерес к гибридным системам с использованием возобновляемых источников энергии.

Цель работы заключается в разработке метода определения оптимального соотношения параметров источников электроэнергии в гибридной генерирующей системе, при котором она сможет снабжать нагрузку по условиям минимальных капиталовложений и заданного уровня надежности. Исходными данными являются график нагрузки, метеорологические данные в месте размещения системы. Разработанный метод учитывает возможность разных комбинаций типов источников и наборов исходных данных, включая период времени, за который необходимо произвести расчет.

Разработка метода производилась в два этапа. На первом этапе был сформирован массив возможных сочетаний параметров источников электроэнергии на основе методики, изложенной в [1]. Учитывались следующие виды источников: солнечные панели, ветрогенераторы, накопители электроэнергии и дизель-генераторы. На втором этапе формировалась регрессионная модель [2] на основе полученного массива. Независимыми переменными были параметры источников, а зависимой переменной — капиталовложения. В результате подбора функции, обеспечивающей наименьшую дисперсию, была получена аналитическая зависимость капиталовложений от параметров ее составляющих.

Разработанный метод может быть использован при электрификации удалённых регионов для выбора оптимального соотношения параметров источников электроэнергии в требуемом месте при минимальных капиталовложениях, а также при заданном уровне надежности.

Литература

1. **H.A. Kazem, Tamer T.N. Khatib**, «A Novel Numerical Algorithm for Optimal Sizing of a Photovoltaic/Wind/Diesel Generator/Battery Microgrid Using Loss of Load Probability Index», 2013;
2. **Гусев Ю.П., Трофимов А.В.** Лабораторные работы по курсу «Математические задачи электроэнергетики». М.: Из-во МЭИ, 1990, 34 с.

А.В. Перемыщева, студ.; рук. Д.Н. Асаинов, к.т.н., доц.;
С. А Косарев, асп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ НУЖД САПР

Системы автоматизированного проектирования (САПР) являются удобным инструментом, существенно сокращающим время и затраты на подготовку проектных решений и проектной документации. Для активного внедрения и продвижения этих систем в отечественной электроэнергетике требуется разработка актуальных баз данных силового оборудования. В них должна содержаться информация, достаточная для нормальной работы всех компонентов соответствующих САПР.

Целью выполненной работы было повышение качества подготавливаемых с помощью САПР проектных решений и проектной документации в электроэнергетике путем подготовки базы данных силовых трансформаторов.

В качестве конкретных задач были выбраны: отбор информации, необходимой для внесения в базу данных; поиск соответствующей информации; актуализация с точки зрения серийно производимого оборудования.

Для решения первой из поставленных задач применялся анализ действующих нормативных документов (ГОСТ и СТО) с выделением требуемых сведений. Решение второй и третьей задач осуществлялось путём сопоставительного анализа и отбора информации из справочных материалов (например, [1] и [2]) и каталогов производителей электрооборудования, таких как ОАО «Электрозавод». Разработанная база данных содержит такую информацию, как номинальные параметры трансформаторов и автотрансформаторов, параметры схем замещения для расчетов токов коротких замыканий, массогабаритные параметры, данные для проверки утяжеленных режимов по ГОСТу и IEC, а также укрупненные показатели стоимости.

Подготовленная база данных может быть успешно применена как для нужд САПР, так и при выполнении курсовых и дипломных работ студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника».

Литература

1. **Неклепаев Б.Н., Крючков И.П.** Электрическая часть станций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. Пособие для вузов. — 4-е изд., перераб. И доп. — М.: Энергоатомиздат, 2000. — 608 с.
2. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: ЭНАС, 2012. — 376 с.

А.Ш. Маджидов, асп.; рук. Ю.П. Гусев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИЕ АГРЕГАТОВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Рассмотрен метод эквивалентирования агрегатов, состоящих из асинхронных двигателей (АД) и механизмов системы собственных нужд (СН) электростанций. Эквивалентирование агрегатов позволяет снизить затраты времени на параметризацию расчетных моделей электромеханических переходных процессов в системе СН.

Исследование выполнено на примере агрегатов СН с АД напряжением 0,4 кВ ТЭЦ №1 города Душанбе Республики Таджикистан.

Анализ известных методов эквивалентирования [1] показал, что они имеют значительные погрешности, обусловленные, в частности, большим разбросом механической инерции механизмов и пренебрежением зависимости параметров режима АД от скольжения их роторов. Предлагаемый метод эквивалентирования предполагает, что все агрегаты, присоединенные к секции шин 0,4 кВ СН, исключая один выделенный, делятся на группы, близких по характеристикам АД и механизмов, и каждая группа заменяется одним эквивалентным агрегатом. При эквивалентировании учитывались только гальванически связанные АД.

В работе проведено сопоставление двух моделей, разработанных с помощью программы ETAP (компания OTI, США). Первая модель отражала полный набор агрегатов с индивидуальными параметрами. Во второй модели часть агрегатов, с близкими характеристиками, заменялась эквивалентными агрегатами. Верификация расчетной модели выполнена на основе сопоставления параметров установившегося режима АД с параметрами, полученными аналитическим расчетом на основе каталожных данных АД.

С помощью проведённого расчетно-теоретического исследования были определены погрешности расчета токов в цепи трансформатора СН, напряжений на сборках шин СН, скольжений ротора обособленного агрегата, не включаемого в группы эквивалентируемых агрегатов.

Погрешности расчета скольжения и тока анализируемого агрегата, выделенного из группы, при расчете групповых пусков и самозапусков агрегатов, не превышали 15%, если агрегаты эквивалентировались по группам, формируемым с учетом видов механизмов и их механической инерции, отличающейся не более чем вдвое.

Литература

1. **В.Ф. Сивокобыленко, В.А. Павлюков** Метод эквивалентирования и расчета короткого замыкания в системе асинхронных машин // Электричество, №1, 1979. С. 45–50.

А.А. Тимофеев, студент; рук. Н.Н. Смотров, ассистент (НИУ «МЭИ»)

СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ПГУ, ГТУ-ТЭЦ И ПАРОСИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ТЭЦ С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЧАСТИ

В течение 8 лет, начиная с 2007 года, на электростанциях ПАО «Мосэнерго» были возведены 7 современных парогазовых энергоблоков, мощностью 2,9 ГВт — что составляет 22% от генерируемой электрической мощности компании. Уже сегодня КПД парогазовой установки (ПГУ) достигает 60%. Высокий КПД обуславливает экономические преимущества блоков ПГУ. Данное достоинство предопределяет выбор генерирующих компаний в пользу установки блоков ПГУ на реконструируемых и вновь возводимых ТЭЦ, что приводит к необходимости расчета их надежности.

Целью данной работы является расчетная оценка надежности типовых схем выдачи мощности ТЭЦ, на примере блоков паросиловой установки, ПГУ и ГТУ. Расчет надежности проводился по методике, приведенной в [1] на основе анализа статистических данных [2]. В качестве расчетных событий, вызывающих отключение генерирующей установки, рассматривались одиночные отказы и наложение отказов на ремонт. Результатом расчета является эквивалентная продолжительность отключения генерирующей установки. Расчет показателей надежности производился для генерирующих установок: ПГУ мощностью 230 МВт (ГТ-165+Т-70), паросиловая установка мощностью 220 МВт (Т-220) и газотурбинная установка (ГТУ) мощностью 240 МВт (GT26 от ABB).

Табл. 1. Сравнение результатов

	Паросиловая установка (Т-220)	ГТУ (GT26)	ПГУ (ГТ-165+Т-70)
Эквивалентная продолжительность отключения, отн. ед.	0.352	0.179	0.283

Результаты расчетов, приведенные в табл. 1, показали, что самым надежным видом генерирующей установки среди рассмотренных вариантов является ГТУ-ТЭЦ отопительного типа с котлом утилизатором. Эквивалентная продолжительность отключения ГТУ-ТЭЦ на 36.75% меньше, чем у ПГУ и на 49.15% меньше, чем у паросиловой установки, за счет сокращения числа элементов технологической части.

Литература

1. **Околович М.Н.** Проектирование электрических станций // Учебник для вузов. М.: Энергоиздат, 1982. — 400 с.
2. **Непомнящий В.А.** Надежность оборудования энергосистем. — М.: издательство журнала «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение», 2013. — 196 с.

С.А. Данилов, Д.А. Дегтярев, студенты; рук-ли А.А. Волошин, к.т.н.;
Я.Л. Арцишевский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИМИ НОЖАМИ И ОПЕРАТИВНОЙ БЛОКИРОВКОЙ РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ

В связи с внедрением цифровых технологий в российскую энергетику, возникла необходимость в скоростном обмене информацией между устройствами релейной защиты и автоматики с использованием международного протокола МЭК 61850, что может повысить надежность и качество управления энергетическими объектами в целом.

В рамках данного проекта реализуется интеллектуальная система управления, которая в соответствии с МЭК 61850 обеспечивает автоматическое конфигурирование таких видов электрооборудования, как разъединители и заземляющие ножи, тем самым снижая расходы на управление подстанцией и риск ошибок персонала. В данном проекте предлагается осуществлять управление заземляющими ножами и разъединителями на основе файлов SCD (Substation Configuration Description) или SSD (System Specification Description) [1], по которым составляется база знаний рассматриваемой сети.

В процессе работы была построена база знаний, в которую входит все электрооборудование рассматриваемой сети, а также электрические связи между ними. В дальнейшем взаимодействие между цифровыми двойниками электрооборудования, то есть передача информации о наличии/отсутствии тока и напряжения, положении коммутационных аппаратов, осуществится при помощи мультиагентной системы JADE, которая позволит гибко и оперативно управлять заземляющими ножами и разъединителями, находящимися в рассматриваемой сети. Каждый агент будет представлять собой определенное оборудование, которое находится в рассматриваемой сети. Сама передача информации будет возможна после интеграции базы знаний в мультиагентную систему, после которой каждый агент будет иметь представление о топологии сети и о своем ближайшем оборудовании.

В перспективе имеется возможность не только управлять вышеописанными аппаратами, но и выполнять такие виды автоматики как автоматический ввод резерва, устройство резервирования отказа выключателя и автоматическое управление выключателями, основанными на топологии сети.

Литература

1. ГОСТ Р МЭК 61850-6-2009 Сети и системы связи на подстанциях. Часть 6. Язык описания конфигурации для связи между интеллектуальными электронными устройствами на электрических подстанциях. М.: Стандартинформ, 2011.

С.С. Алексеев, И.А. Гусев, студенты;
рук. А.В. Трофимов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

В настоящее время активно развивается тематика цифровых подстанций и, следовательно, остро стоят вопросы их проектирования. Возникает большая потребность в подготовке специалистов и разработке методических материалов в этой области.

Документация на цифровой подстанции разносторонняя: с одной стороны, остается традиционное вторичное оборудования, с другой — нужно разрабатывать программное обеспечение, а также информационную модель и описание цифрового обмена для интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) согласно стандарту МЭК 61850 [1, 2]. В связи с этим основной задачей является разработка системного подхода к созданию комплекта проектной документации.

В качестве примера был разработан полный комплект методических материалов по проектированию цифровых систем автоматизации блочного трансформатора и линии 110 кВ, входящих в состав исследовательского полигона АСУ ЭТО кафедры «Электрические станции» НИУ МЭИ.

Первая часть методического указания посвящена составлению проектной документации на вторичные цепи шкафа управления и защит блочного трансформатора и линии 110 кВ на базе программного обеспечения САПР ЦВК. Была рассмотрена структура программно-технического комплекса (ПТК). Вторая часть представляет собой создание информационной модели ПТК с использованием конфигуратора. Были созданы SSD и SCD файлы на базе языка SCL в соответствии со схемой, определенной в стандарте МЭК 61850.

Результаты настоящей работы предполагается использовать для подготовки специалистов в области АСУ ЭТО.

Литература

1. **Трофимов А.В.** Основы организации микропроцессорных автоматизированных систем управления технологическими процессами электроустановок: учебное пособие. /А.В. Трофимов, А.М. Поляков// М: Издательство МЭИ, 2014.
2. ГОСТ Р МЭК 61850-6-2009. Сети и системы связи на подстанциях. Часть 6. Язык описания конфигурации для связи между интеллектуальными электронными устройствами на электрических подстанциях. — М.: ФГУП Стандартинфо, 2011, — 147 с.

С.А. Косарев, асп.; рук. Ю.П. Гусев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПЯЖЕНИЙ С УЧЁТОМ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6–20 КВ

В распределительных сетях среднего напряжения 6–20 кВ широко применяются ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН) для защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений [1]. Однако перенапряжения, вызванные однофазными замыканиями на землю (ОЗЗ) в сетях с изолированной или компенсированной нейтралью, могут приводить к повреждению ОПН. Цель исследования состоит в разработке рекомендаций по выбору ОПН с учётом квазистационарных перенапряжений, обусловленных ОЗЗ. Была разработана расчётная модель распределительной сети с ОПН, проанализировано влияние на работу ОПН отклонений напряжения на шинах питающей подстанции, полноты компенсации емкостных токов в сети, места возникновения и типа ОЗЗ. Расчетная модель, реализованная с помощью программы EMTP-RV (Powersys, Франция), соответствовала распределительной сети 10 кВ с ёмкостным током 100 А и компенсированной нейтралью. Исследовано влияние ОЗЗ на ОПН с наибольшими длительно допустимыми рабочими напряжениями 10,5; 12 и 13,7 кВ. Была произведена оценка влияния указанных факторов (отклонений напряжений, полноты компенсации ёмкостного тока, места и типа ОЗЗ) на токи через ОПН и на поглощаемую ими энергию. Показано, что рекомендации по выбору ОПН [2] необходимо дополнить учетом дополнительных факторов, определяющих параметры квазистационарных перенапряжений, возникающих при ОЗЗ. Кратность перенапряжений зависит от емкостного тока в сети, от индуктивностей и активных сопротивлений кабелей, наличия токоограничивающих реакторов и многих других факторов. Так как продолжительность ОЗЗ может достигать 2 часов, выделяющаяся в ОПН энергия может превысить их предельно допустимую энергоемкость и, как следствие, вызвать разрушение ОПН. Значительные риски повреждения ОПН также обусловлены отклонениями напряжений на шинах питающих подстанций, на которых используется метод встречного регулирования напряжения в сети и кратковременными повышениями напряжения, вызванными отключением нагрузки.

Литература

1. ГОСТ Р 52725–2007. Ограничители перенапряжений нелинейные для электроустановок переменного тока напряжением от 3 до 750 кВ. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2007.
2. Методические указания по применению ограничителей перенапряжений нелинейных в электрических сетях 6–35 кВ. М.: ООО «Сопротек-11», 2001.

Секция 56.
СЕКЦИЯ ИМЕНИ ПРОФЕССОРА Б.К. МАКСИМОВА «ЭЛЕКТРОФИЗИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ»

Председатель секции — Арцишевский Ян Леонардович
Секретарь секции — Орлов Александр Васильевич

M. Shkilkova, student; supervisor Univ.-Prof. Dr. –Ing. Habil. H. Töpfer (TU Ilmenau, Germany)

SIMULATION OF A DISCHARGE BY MEDIUM FREQUENCY HIGH VOLTAGE

With the development of electrical engineering there is the increasing importance of devices and technologies, that provide a medium frequency currents and voltages. Therefore, it is necessary to study the influence of this new stress of medium frequency high voltage on the electrical insulation. The experimental data made it obvious, that the 50 Hz discharge differs from the medium frequency discharge [1].

The main aim of this master-thesis was the development of a model that describes the processes of partial discharge in gases. This model was created on basis of the available Plasma Model in COMSOL Multiphysics for simulation of partial discharges in nitrogen for AC voltage with variable frequencies by means of Finite element method (FEM). For verification of the obtained results of the simulations were made the corresponding measurements. The results of the simulation for the frequency of 50 Hz couldn`t be fully supported by the measurement results because of the limitations of the simulation. For the frequency of 8,5 kHz the results of the simulation and measurement relatively matched together. Nevertheless, there are certain simplifications in the developed model, which can be responsible for the deviations of the simulation results from the measurements. In consideration of these simplifications it can be concluded, that for medium frequency the results of the simulation can be relatively good supported by the results of measurements and the described model gives precise results for the simulation of gas discharge in nitrogen. In addition to this was obtained, that the form and the characteristics of the middle frequency discharge in fact are different in comparison to 50 Hz discharge.

References

1. **Seifert, F.; Leu, C.** Grenzflächenentladungen bei nieder- und mittelfrequenter Hochspannung // VDE-Fachtagung Hochspannungstechnik, Berlin, 2016

М. Рммо, асп.; рук. С.И. Хренов, к.т.н., доц.(НИУ «МЭИ»)

КАРТЫ СТЕПЕНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ВЛ И ОРУ В РАЙОНАХ С ЗАГРЯЗНЕННОЙ АТМОСФЕРОЙ

Надежность работы электроустановок в нормальном эксплуатационном режиме, то есть при длительном воздействии рабочего напряжения, существенно зависит от способности гирлянд изоляторов ВЛ и внешней изоляции электрооборудования ОРУ противостоять оседающим на поверхность изоляторов из приземного слоя атмосферы загрязнениям (природным и промышленным) и увлажнениям.

Картой степеней загрязнения (КСЗ), в соответствии с главой 1.9 ПУЭ-7 [1], называется географическая карта, районирующая территорию по степеням загрязнения (СЗ). На КСЗ выделяются источники промышленных и природных загрязнений, электроустановки (ВЛ и ПС), изолинии, отображающие зоны с однородными условиями загрязнения (одинаковыми СЗ), учитывающими влияние загрязненности приземного слоя атмосферы на снижение электрической прочности изоляции электроустановок.

При выборе уровней изоляции по КСЗ учитывается, прежде всего, опыт эксплуатации электроустановок, расположенных на изучаемой территории, а также характеристики загрязнения изоляторов и приземного слоя атмосферы. Такой подход позволяет выбирать уровни изоляции с требуемой надежность и без излишних запасов [2].

На первом этапе настоящей работы был осуществлен сбор исходных данных в Сирии за последние 5 лет до начала войны в Сирии (характеристики источников загрязнения и изоляции электроустановок, данные по перекрытию изоляции и отказам изоляторов за пятилетний период эксплуатации).

Установление степени загрязнения на территории расположения ВЛ и ОРУ ПС позволяет непосредственно выбирать уровни изоляции, так как каждой СЗ соответствует нормированное значение удельной длины пути утечки (λ).

Литература

1. Правила устройства электроустановок, 7 издание, раздел 1, глава 1.9 «Изоляция электроустановок», М.: «НЦ ЭНАС», 2002.
2. СТО 56947007-29.240.058-2010 Методические указания по составлению карт степеней загрязнения на территории расположения ВЛ и ОРУ ПС, ОАО «ФСК ЕЭС», 2010.

А.С. Плошница, студ.; рук. А.А. Белогловский, к.т.н.,доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЁТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В СИСТЕМЕ С ИГОЛЬЧАТЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

Высоковольтные электротехнологии на основе электрических разрядов [1] распространены в промышленности, охране окружающей среды и т.д. Высоковольтными коронирующими электродами часто являются иглы с малым радиусом закругления острия. Распределение электрического поля (ЭП) вблизи него определяет форму и свойства разряда. Поэтому расчёт ЭП является важным этапом создания электротехнологических установок.

Для таких вычислений применяются методы эквивалентных зарядов (МЭЗ), конечных разностей (МКР) и конечных элементов (МКЭ) [2]. Их точность и сходимость различаются, и грамотный выбор метода способствует повышению эффективности работы.

Автор изучила свойства методов на примере системы «игла на плоскости против плоскости». Некоторые результаты показаны в табл. 1 в виде зависимостей $E_{max}(N_0)/E_{ср}$ и $\delta E_{max}(N_0)$, где E_{max} — максимальная напряжённость ЭП на острие иглы, $E_{ср}$ — её среднее значение между электродами, N_0 — число эквивалентных зарядов, узлов конечно-разностной или конечно-элементной сетки, приходящихся на закругление острия, $\delta E_{max}(N_0)=[E_{max}(N_0)-E_{max}(N_0/2)]/E_{max}(N_0)$. Отношение длины цилиндрической части иглы к радиусу закругления её острия равно 4.

Табл. 1. Зависимости $E_{max}(N_0)/E_{ср}$, $\delta E_{max}(N_0)$, полученные с помощью МЭЗ, МКР и МКЭ

N_0		12	25	50	100
$E_{max}/E_{ср}$, о.е.	МЭЗ	7,53206	7,53251	7,53056	7,53170
	МКР	6,26241	6,85207	7,18683	7,38852
	МКЭ	7,46400	7,48530	7,50413	7,50701
δE_{max}, о.е.	МЭЗ	–	0,00006	0,00026	0,00015
	МКР	–	0,08605	0,04658	0,02730
	МКЭ	–	0,00285	0,00251	0,00038

Из рассмотренных методов наилучшей сходимостью обладает МЭЗ, обеспечивающий наименьшее δEmax уже при N_0=25. Поэтому МЭЗ хорошо подходит для расчётов при небольшом числе N_0 эквивалентных зарядов.

Литература

1. Электрофизические основы техники высоких напряжений: учебник для вузов / И.М. Бортник и др.; под общ. ред. И.П. Верещагина. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
2. **Куффель Е., Цаенгель В., Куффель Дж.** Техника и электрофизика высоких напряжений. Пер. с англ.: Учебно-справочное руководство. — Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2011.

Д.В. Моисеев, асп.; рук. Н.А. Галанина, д.т.н., доц.
(ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары)

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА АВАРИЙНЫХ СОБЫТИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТОВ ПО АЛГОРИТМУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ

Актуальность данной работы обусловлена тем, что разработка централизованной системы РЗА является одним из возможных перспективных направлений развития технологий релейной защиты. В настоящее время требуется повышенное внимание к вопросам сохранения и улучшения уровня работы релейной защиты (уровня селективности, быстродействия, чувствительности, надежности), поэтому ведется разработка системы диагностики централизованной системы РЗА. Экспресс-анализ аварийных событий электрической системы на основе расчетов по алгоритму определения места повреждения (ОМП) является подзадачей в общей задаче диагностики централизованной системы РЗА.

Новизна проведенных исследований: в ходе исследований были разработаны алгоритмы анализа работы функций РЗА (максимальная токовая защита, токовая защита нулевой последовательности, защита минимального напряжения, дистанционная защита линии, направленная высокочастотная защита) на основе расчетов ОМП. Создан опытный образец программного комплекса для реализации экспресс-анализ аварийных режимов энергосистемы по ОМП и формирования протокола по результатам анализа [1].

Личный вклад автора: авторами были разработаны алгоритмы анализа функций РЗА и разработан программный комплекс системы диагностики централизованной системы РЗА.

Перспективы использования полученных результатов: результаты проводимых работ планируется внедрить на объектах электроэнергетики в качестве современного программного комплекса диагностики и регистрации аварийных событий цифровой подстанции. Использование результатов работ должно привести к снижению затрат на строительство, наладку и эксплуатацию систем автоматизации подстанции.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Чувашской Республики в рамках научного проекта № 19-48-210005 р_а.

Литература

1. **Моисеев Д.В. Галанина Н.А.**, **Иванова Н.Н.** Разработка методики экспресс-анализа аварийных режимов электрической системы // Вестник Чувашского университета. — 2019. — №3. — С. 167–175.

П.И. Пичугин, студ.; рук. А.А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ ОДНОМЕРНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В ЗАДАЧАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Решение ряда инженерных задач электроэнергетики и электротехники требует регулирования электрических полей (ЭП): выбора формы и взаимного расположения электродов полеобразующей системы устройства высокого напряжения (УВН) так, чтобы добиться минимизации значений напряжённости ЭП в заданной точке или области. Для этого используются численные методы математической оптимизации [1], в которых минимум целевой функции (ЦФ), описывающей зависимость напряжённости от параметров УВН, отыскивается в виде последовательности приближений. Направление перехода между ними определяется вектором антиградиента ЦФ. Множитель перед ним зависит от конкретной реализации метода.

Рассмотрена оптимизация расстояния D между проводниками тросового электростатического экрана на высоте H. Экран из 3 параллельных друг другу и земле проводников радиусом $R<<H$ ослабляет внешнее ЭП с напряжённостью E_0. Минимизируется напряжённость E_M в точке M ($E_M(D)\to\min$) под средним тросом на высоте $h_0<H$ над землёй методами: Ньютона 2-го порядка, градиентного спуска [1] и комбинированным [2].

Пусть H=4 м, R=0,015 м, E_0=30 кВ/м, предельное значение ε расхождения между последовательными приближениями к решению D^* этой задачи равно $\varepsilon=10^{-6}$. Тогда $D^*\approx1{,}1582$ м и $E_M(D^*)\approx8{,}9045$ кВ/м. Показано, что сходимость метода Ньютона сильно зависит от начального приближения D_0: если выбрать D_0 вблизи D^*, то требуется n=7 приближений, а если $E_M(D_0)\approx0$, то $n\to\infty$. Метод градиентного спуска сходится медленнее метода Ньютона при удачном выборе D_0, но область допустимых значений D_0 шире. Поэтому признана перспективной идея глобализации сходимости решения задачи безусловной оптимизации [2]: на первом этапе методом градиентного спуска отыскивается приближённое решение, лежащее в области сходимости метода Ньютона, а на втором при помощи последнего решение уточняется вплоть до выполнения условий сходимости с заданным ε. Показан пример успешного и эффективного (по критерию снижения числа n) применения такого комбинированного алгоритма.

Литература

1. **Белогловский А.А., Калугина И.Е.** Основы применения методов математического программирования в электроэнергетике: метод. руководство. — М.: Издательство МЭИ, 2017.
2. **Гасников А.В.** Современные численные методы оптимизации. Метод универсального градиентного спуска: учебное пособие. — М.: МФТИ, 2018.

И.А. Журавлев, студент; рук. А.А. Воронин, к.т.н., доцент (СамГТУ, Самара)

ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИИ С АБСОЛЮТНОЙ СЕЛЕКТИВНОСТЬЮ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ 20 кВ Г. МОСКВЫ

При строительстве удаленных распределительных трансформаторных подстанций (РТП) 20 кВ выполнить технологическое присоединение непосредственно к шинам питающих центров по ряду технико-экономических причин часто не представляется возможным. Тогда технологическое присоединение осуществляется непосредственно к распределительной сети 20 кВ, что накладывает значительные ограничения на выбор уставок релейной защиты от однофазных замыканий на землю. Решением этой проблемы является применение логической защиты линии (рис. 1) с использованием приемо-передатчиков дискретных команд (ППДК) и волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) между терминалами на концах защищаемой линии [1]. Данная защита может быть применима, даже если на концах защищаемой линии установлено оборудование разных производителей. Основным критерием использования такой защиты является наличие цифровых входов-выходов на терминалах РЗА. Применение логической защиты линии позволяет решить проблему ограничения выбора уставок РЗА и не влечет больших материальных затрат на установку и эксплуатацию. Защита обладает абсолютной селективностью, что позволяет отключить поврежденную линию за минимальное время и расширяет возможность выбора уставок на обеих РТП.

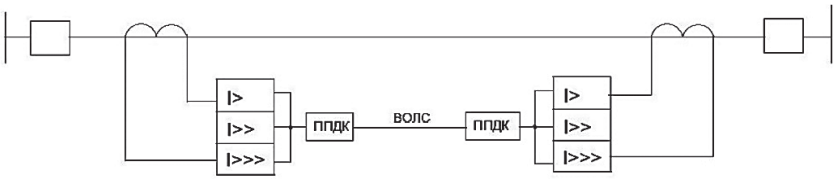


Рис. 1. Упрощенная схема логической защиты линии

Литература

1. **Емельянцев А., Филин Л.** Линии 6–10 кВ между электростанциями и энергосистемой. Быстродействующая логическая защита.// Информационно-справочное издание «Новости Электротехники». — 2019. — №3 (117).

Д. Мунхтулга, асп.; рук. Я.Л. Арцишевский, к.т.н.,доц.;
Баяр.Б, профессор кафедры РЗиАЭ (НИУ, «МЭИ»)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ В МОНГОЛИИ

Министерство энергетики Монголии объявило 2019 год «Годом умной энергетики» и предлагает разработанную государственную программу интеллектуальных энергетических систем (ИЭС), последующее внедрение. Которой позволит повысить устойчивость, энергобезопасность и энергоэффективность монгольской электроэнергетической системы.

Для реализации данной программы наметили выполнить 33 наименования комплексных работ по трем следующим направлениям:

1) Обеспечение надежной и устойчивой работы электроэнергетической системы в разных условиях;

2) Повышение экономичности и эффективности энергетической отрасли страны;

3) Внерение в интеллектуальную систему управления больного количества разнообразных элементов в распределительных сетях и на уровне потребления электроэнергии.

Основном фундаментом стратегии создания ИЭС является проведение комплекного системного исследования по разработкам теоретической и методологической основ для развития топливно-энергетического комплекса Монголии.

В ИЭС используются алгоритмы решения многофакторных противоречивых инженерно-экономических, научных и организационных задач, которые включают в себя, с одной стороны, масштабное обновление парка энергетического (электросетевого, генерирующего, электропотребляющего) оборудования, а с другой — переход на новые поколения систем управления технологическими процессами и экономическими взаимодействиями (рыночными операциями) на всех уровнях (рис. 1) [1].

Рис. 1. Общая схема переход к ИЭС

Таким образом, переход к ИЭС — это реализация интенсивного сценария развития отрасли, который сопровождается изменением функциональности, то есть трансформацией существующих или появлением новых свойств в отдельных структурных сегментах и в энергосистеме в целом. В докладе оценен технико-экономический эффект от сокращения потерь сетевой компании и снижения капи-

таловложений в модернизацию РЗА при ОЗЗ за счет цифрового реле нового вида с реагированием на корреляции в токовых цепях [2].

Литература

1. **Ф.В. Веселов, В.В. Дорофеев.** «Интеллектуальная энергосистема России как новый этап развития электроэнергетики в условиях цифровой экономики». / Энергетическая политика: Выпуск 5. 2018. г. Москва
2. **Арцишевский Я.Л., Мунхтулга. Д., Балашов В.В.,** Способ определения присоединения и участка электрической сети 6–35 кВ с замыканием на землю. // Релейная защита и автоматизация. — 2019. — №04. — С. 38–40.

Д. Мунхтулга, асп.; рук. Я.Л. Арцишевский, к.т.н.,доц.;
Баяр.Б профессор кафедры РЗиАЭ (НИУ, «МЭИ»)

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИСОЕДИНЕНИЯ И УЧАСТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 6-35 кВ С ЗАМЫКАНИЕМ НА ЗЕМЛЮ

Важная задача построения комплексов релейной защиты и средств опеределения мест повреждения в радиальных сетях с изолированной (компенсированной) нейтралью 6–35 кВ является обеспечение гарантированной чувствительности и селективности в схемах разной конфигурации. Известны различные направления повышения чувствительности и селективности средств РЗ и ОМП при ОЗЗ.

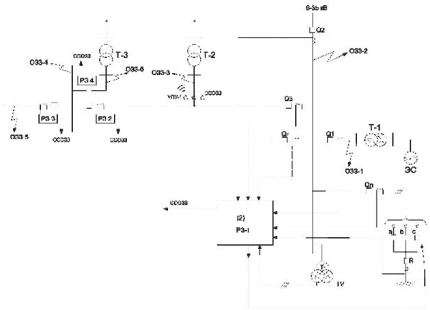


Рис. 1. Расстановка устройств ССОЗЗ в сети 6-35

Одно из направлений базируется на включении и коммутации резисторов в первичных схемах электроэнергетических сетей при однофазных замыканиях на землю. Примеры подобных технических решений приведены в довоенных публикациях руководящих указаний по релейной защите [1,2].

В данной работе предлагается дальнейшее совершенствование корреляционных реле с обеспечением чувствительности без непосредственного использования тока через резистор. Реализация способа иллюстрируется схемой на рис 1.

Важной технико-экономической характеристикой рассматриваемого способа является отказ от «силового» характера искусстенно формируемых импульсов тока двойного замыкания, что позволяет существенно уменьшить значение амплитуды импульсов тока через резистор и, главное, их длительность [3]. При этом мощность и соответсвенно, габариты и стоимость резистора радикально уменьшаются и состовляют единицы кВт, что открывает путь реального снижения расходов сетевой компании на реализацию требований к селективности и чувствительности РЗ при ОЗЗ. В докладе приведен результат разработки методики отстройки корреляционного реле в условиях переходных процессов.

Литература

1. Руководящия указания по защите генераторов, трансформаторв и агрегатов генератор-трансформатор. Государственное энергетическое издательство. Москва, Ленинград. 1933г с 263.
2. Руковрящия указания. Часть I Общие указание по релейной защите. Часть II Защита электрических сетей. (18 тетрадей) Главная редакция энергетической литературы. Москва, Ленинград. 1937 г.
3. **Арцишевскии Я.Л., Мунхтулга. Д., Балашов В.В.,** Способ определения присоединения и участка электрической сети 6–35 кВ с замыканием на землю. // Релейная защита и автоматизация. — 2019. — №. — С. 38–40.

С.Р. Калюжная, студ.; Е.В. Опарин, студ.;
рук. А.Г. Темников, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРИОБЛАЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ИСКУССТВЕННЫХ ГРОЗОВЫХ ОБЛАКАХ

Для повышения эффективности функционирования системы определения места удара и параметров разряда молнии необходимо правильно интерпретировать электромагнитное излучение от молнии и других разрядных явлений в грозовых облаках [1]. Актуальной задачей является корректное разделение излучения от внутриоблачных разрядов от разрядов молнии в землю, с учетом присутствия в них обширных массивов града. Использование искусственных грозовых облаков открывает новые возможности для ее решения [2].

В работе представлены результаты исследования характеристик электромагнитного излучения внутриоблачных разрядов в искусственных грозовых облаках, состоящих из двух разно-полярно заряженных ячеек, между которыми вводились группы модельных гидрометеоров (ГМ). Электромагнитное излучение регистрировалось тремя антеннами, расположенными на различных расстояниях от места формирования разрядов.

В ходе обработки 176 экспериментальных подходов было выявлено, что амплитуды импульсов излучения внутриоблачных разрядов, регистрируемого всеми тремя антеннами, в системе ячеек «нижняя “+” — верхняя “ — ”» в среднем на 20–25% выше, чем в системе ячеек «нижняя “ — ” — верхняя “+”».

Установлено влияние параметров групп ГМ на характеристики импульсов электромагнитного излучения внутриоблачных разрядов. При введении независимых групп ГМ, амплитуды импульсов оказываются в 1,3–1,8 раза больше, чем в случае объединения групп модельных ГМ диэлектрической леской. При этом длительность импульсов во втором случае была больше. Выявлено существенное влияние места расположения групп ГМ в искусственном грозовом облаке на характеристики электромагнитного излучения внутриоблачных разрядов. Наибольшая интенсивность сигналов наблюдалась при расположении первой группы ГМ внутри нижней ячейки, а второй группы ГМ в промежутке между ячейками ближе к границам нижней ячейки.

Литература

1. **A. Nag, M.J. Murphy, W. Schulz, K.L.** Cummins. Lightning location systems: insights on characteristics and validation technique. Earth and Space Science 2 (2015) 65-93.
2. **А.Г. Темников, Л.Л. Черненский, А.В. Орлов, Н.Ю. Лысов, О.С. Белова, Д.С.** Журавкова, Т.К. Кившар. Искусственное инициирование молнии в грозовых облаках группами модельных гидрометеоров. Электротехника 8 (2018) 39-45.

Д.А. Дегтярев, С.А. Данилов, студенты; рук-ли А.А. Волошин, к.т.н., А.И. Коваленко, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭКВИВАЛЕНТА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПО ДАННЫМ СВИ ДЛЯ АДАПТИВНОЙ РЗА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

С увеличением доли распределенной генерации в распределительных сетях традиционный подход расчета уставок РЗА может оказаться некорректным для ряда режимов работы сети. Расчет уставок на анализе максимальных и минимальных режимов работы не позволяет выполнить защиту селективной, обеспечив при этом необходимую чувствительность. В то же время для создания адаптивной к режиму работы сети РЗА необходимо иметь информацию о параметрах внешней энергосистемы. Отсутствие актуальной информации о составе, параметрах и режимах работы электрооборудования внешней энергосистемы — одной из проблем для расчета актуальных параметров срабатывания РЗА. Для решения этой задачи предлагается формировать эквивалент внешней энергосистемы по данным синхронизированных векторных измерений (СВИ).

Границы внутренней электрической сети (узловые точки) соединены с внешней энергосистемой линиями связи (ЛЭП, АТ, Т). Топология эквивалента представляет из себя многоугольник с n количеством вершин, где n определяется количеством линий связи. К вершинам многоугольника подключены источники ЭДС с внутренним импедансом. Вершины многоугольника между собой соединены посредством импеданса для учета возможного перетока между частями внешней энергосистемы (или ОЭС).

Основной задачей для построения эквивалента является идентификация его параметров. На первом этапе подход к созданию эквивалента опробован в ПК Matlab, на тестовой схеме IEEE 14-bus [1] и разбита на внутреннюю и внешнюю части энергосистемы. Внешняя энергосистема была заменена эквивалентом. Эквивалент описывается системой уравнений по законам Кирхгофа, разрешаемой при помощи функцией оптимизации ПК Matlab.

Было выявлено, что для предложенного метода формирования эквивалента в ПК Matlab наилучшие показатели обеспечивает функция globalsearch, погрешности которой составили менее 1%, а время расчета 13 минут. Это допустимо для проведения расчетов в режиме «offline». При этом время работы алгоритма может быть снижено путем оптимизации программного кода. Для задач РЗА в дальнейшем будет продолжаться исследование, с целью создания эквивалентов, соответствующих различным схемно-режимным ситуациям, а также режимам КЗ.

Литература

1. Illinois Center for a Smarter Electric Grid. (2013). [Online]. Available FTP: http://publish.illinois.edu/smartergrid/

Д.С. Бондарь, Р.С. Максимов, Лобач А.И., студенты;
рук. А.А. Волошин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕТОКАМИ МОЩНОСТИ МЕЖДУ МИКРОЭНЕРГОСИСТЕМАМИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТОРГОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ В СЕТЯХ SMART GRID

В существующей традиционной системе электроснабжения растёт доля распределенной генерации. Особенностью внедрения малой генерации является то, что привычные для СЭС потребители электроэнергии становятся просьюмерами, то есть в зависимости от локальных параметров генерации рассматриваемый узел может быть как генерирующим электроэнергию устройством, так и потребителем. Представленными на рынке устройствами для осуществления технологического присоединения просьюмера к системе электроснабжения являются сетевые инверторы. Основной особенностью данных устройств является локальная настройка графика выдачи электроэнергии в сеть электроснабжения и невозможность осуществления управления из диспетчерского пункта. Для традиционной структуры системы электроснабжения масштабное внедрение распределённой малой генерации ведёт к появлению проблем, связанных с трудностью прогнозирования графика нагрузки. Для реализации концепции smart grid сетей необходимы устройства, способные осуществлять передачу электроэнергии согласно подписанному контракту, вне зависимости от параметров режима micro grid сети просьюмера [1]. Данные устройства должны поддерживать возможность удаленного управления, согласно уставке по передаваемой мощности. В данной работе предложена концепция энергороутера. Энергороутер это силовое полупроводниковое устройство для управления перетоками мощности между энергосистемами, поддерживающее возможность двунаправленной передачи электроэнергии согласно уставке от системы управления верхнего уровня. В работе рассматривается возможность реализации энергороутера для потребительского уровня напряжения, так же было выполнено исследование разработанной цифровой модели устройства при различных схемно — режимных ситуациях, для подтверждения гипотезы о возможности реализации данного устройства на существующей элементной базе.

Литература

1. **Дмитрий Холкин,** Архитектура Интернета энергии, ЦСР «Северо-Запад» 2018.

С.К. Подгайный, студ.; рук. А.А. Белогловский, к.т.н.,доц.(НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЩЕПЛЕННЫХ ФАЗНЫХ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Потери энергии на местную корону на фазных проводах воздушных линий электропередачи (ВЛ) высокого напряжения (ВН) пропорциональны максимальной напряжённости E_{max} электрического поля (ЭП) на их поверхности [1]. Чтобы снизить значения E_{max}, провода ВЛ с номинальным напряжением U=330÷1150 кВ расщепляются, а расстояния d между проводниками, составляющими расщеплённый фазный провод (РФП), математически оптимизируются [2] по критерию $E_{max}(d)\rightarrow\min$.

В докладе представлены результаты для РФП ВЛ 330÷750 кВ. Для каждой из них составлена математическая модель вычисления значений E_{max} в их пролётах методом эквивалентных зарядов [3] и решения задачи безусловной оптимизации $E_{max}(d)\rightarrow\min$ методом Ньютона 2-го порядка точности [2]. Параметры опор линий были взяты из справочника [4]. Показано, что влияние высоты H размещения РФП над землёй на решение d^* этой задачи не превышает 1÷2% его величины, а расстояния D между соседними фазами на него – 9÷10%.

В табл.1 приведены примеры расчётных значений d^* и $E_{max}^*=E_{max}(d^*)$ и соответствующих им величин U, H, D, R_0 (R_0 — радиусы проводников, из которых состоит РФП) для ВЛ на железобетонных опорах. Оказалось, что значения d^* и $E_{max}(d^*)$ увеличиваются с ростом класса напряжения.

Табл 1. Результаты расчета ВЛ 330-750 кВ железобетонных опор.

Тип опоры	U,кВ	Марка провода	H,м	R0,м	D,м	d*, м	Emax*, кВ/м
ПБ 330-7Н	330	2хАС400/51	19,6	0,0138	8,2	0,2065	2247,92
ПБ500-1	500	3хАС500/64	15	0,0153	8,4	0,2511	2528,58
ПБ750-1	750	4хАС500/27	24,5	0,0147	16	0,2895	2814,3

Литература

1. **Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С.** Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. **Белогловский А. А, Калугина И.Е.** Основы применения методов математического программирования в электроэнергетике: методическое руководство. — М.: Издательство МЭИ, 2017.
3. **Белогловский А. А, Пашинин И.В.** Методы расчёта электрических полей в примерах и задачах: учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
4. **Баумштейн И.А., Бажанов С.А.** Справочник по электрическим установкам высокого напряжения: 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1989.

А.С. Плошница, студ.; рук. А.А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ РАСЧЁТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ РАСЩЕПЛЕННЫХ ФАЗНЫХ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ЗАРЯДОВ

Расчёт электрических полей — одна из физико-математических задач техники и электрофизики высоких напряжений, лежащая в основе для решения проблемы регулирования электрических полей в установках высокого напряжения. В докладе рассмотрен расчёт максимальной напряжённости электрического поля на поверхности расщеплённого фазного провода (РФП) в пролёте воздушной линии электропередачи (ВЛ) 330 кВ с горизонтальным размещением фаз [1]. Рассмотрено поле центрального провода, поскольку он имеет большую суммарную ёмкость, чем крайние провода, и потому больший заряд при одинаковом приложенном напряжении.

Полеобразующая система состоит из тонких цилиндрических проводников, параллельных друг другу и поверхности идеально гладкой, бесконечной и проводящей земли. Для расчёта таких полей прекрасно зарекомендовал себя метод эквивалентных зарядов (МЭЗ) [2]. Реальное распределение заряда по поверхности проводника замещается множеством фиктивных бесконечных равномерно заряженных осей (эквивалентных зарядов, ЭЗ), помещённых внутри неё.

С помощью МЭЗ рассчитаны и сопоставлены между собой распределения напряжённости поля E по поверхности РФП и её максимальные значения E_{max}. Показано, что для достижения погрешности $\delta E_{max} \leq 10^{-6}$ в значениях E_{max} нужно, чтобы отношение глубины ΔH размещения ЭЗ под поверхностью проводников к расстоянию ΔL между ними составляло бы $\Delta H/\Delta L \geq 2{,}7$. Если достаточно $\delta E_{max} \leq 0{,}005$, то $\Delta H/\Delta L \geq 0{,}85$.

Полученные значения $\Delta H/\Delta L$ превышают рекомендуемую в диссертации [2] величину $\Delta H/\Delta L = 2{,}5$, но позволяют добиться более высокой точности расчёта максимальной напряжённости поля на поверхностях расщеплённых фазных проводов воздушных линий электропередачи.

Литература

1. Электрофизические основы техники высоких напряжений: учебник для вузов / И.М. Бортник и др.; под общ. ред. И.П. Верещагина. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
2. **Бобиков В. Е.** Инженерные аспекты применения метода эквивалентных зарядов в расчетах электрических полей высоковольтного оборудования: Диссертация кандидата технических наук. — М.: МЭИ, 1983.

М.В. Фролов, студ.; рук. С.И. Хренов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Высокочастотные агрегаты питания электрофильтров обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными агрегатами — снижение массы и габаритов, повышение эффективности очистки уходящих газов за счет снижения пульсаций выходного напряжения и расширенных возможностей систем управления.

Одним из важнейших составных элементов агрегата питания электрофильтра является повышающий трансформатор. Для определения и корректировки параметров его конструкции с целью оптимизации системы в целом необходима расчетная модель, которая, будучи интегрированной в модель агрегата питания, позволит воспроизвести процессы при работе реальной системы.

Широко применяется подход к разработке моделей агрегата питания, при котором трансформатор представляется соединением всего двух-трех элементов — своей индуктивности рассеяния, суммарной емкости обмоток и идеального трансформатора [1]. Такой подход не отражает сложного поведения трансформатора при переходных процессах и непригоден для анализа его конструкции применительно к работе агрегата питания в целом.

В мировой практике распространен подход к формированию расчетных моделей трансформаторного оборудования, основанный на использовании принципа дуальности электрических и магнитных цепей [2]. В настоящей работе указанный подход дополнен учетом продольных и поперечных емкостей обмоток и их активных сопротивлений.

В докладе описана процедура разработки расчетной модели высокочастотного высоковольтного трансформатора в составе агрегата питания электрофильтра, в том числе корректировка ее параметров по результатам частотного обмера реального образца. Представлено сопоставление результатов численного моделирования и эксперимента.

Предложенный подход позволяет выбрать оптимальные конструкции трансформаторного оборудования на стадии проектирования, а также оптимизировать конструкции существующих трансформаторов.

Литература

1. **Jun Liu et al**. Design of High Voltage, High Power and High Frequency Transformer in LCC Resonant Converter // 2009 Twenty-Fourth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition.
2. **E.C. Cherry.** The Duality between Interlinked Electric and Magnetic Circuits and the Formation of Transformer Equivalent Circuits // Proceedings of the Physical Society Section B, Vol. 62, No. 2, 1949.

М.В. Фролов, студ.; рук. С.И. Хренов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ОДНОФАЗНЫХ ДУГОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКАХ

Однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) — наиболее распространенный вид повреждения в распределительных электрических сетях классов напряжения 6–35 кВ. По происхождению они могут быть металлическими и дуговыми. Однофазные дуговые замыкания (ОДЗ) могут самоустраняться за счет погасания дуги. Существенное влияние на протекание переходных процессов при ОДЗ оказывает поведение самой дуги в месте замыкания. На сегодняшний день не существует общепринятой методики моделирования ОДЗ, и это обстоятельство препятствует проведению расчетных исследований, направленных на решение практических задач.

Описание процессов при ОДЗ может быть получено при представлении дуги чисто активным элементом электрической цепи, причем ее проводимость рассчитывается с помощью уравнения, решаемого совместно с системой уравнений, описывающей электрическую сеть. В настоящей работе показано, что классические уравнения Кассье [1] и Майера [2] не обеспечивают удовлетворительного описания процессов при ОДЗ. Предложено следующее уравнение:

$$\frac{d(\ln g)}{dt} = \frac{1}{\tau}\left(\frac{u\,i}{P_0 + C g^{\alpha}} - 1\right),$$

где t — время; g — проводимость дуги; u и i — напряжение и ток дугового промежутка соответственно; τ — постоянная времени дуги; P_0 — составляющая мощности охлаждения, независимая от температуры, C и α — некоторые постоянные, определяющие составляющую мощности охлаждения, зависимую от температуры. В докладе описана процедура подбора параметров уравнения (1) с помощью реальных осциллограмм ОДЗ.

Полученные результаты могут быть использованы для настройки моделей ОДЗ по измерениям в реальных сетях для определения максимальных кратностей перенапряжений при перемежающихся ОДЗ, а также для настройки алгоритмов систем управления ДГР, систем определения поврежденного фидера (ОПФ) и систем определения места повреждения (ОМП).

Литература

1. **A.M. Cassie**. Arc Rupture and Circuit Severity: a new theory // CIGRE Session Report No. 102, 1939.
2. **O. Mayr**. Beitrage zur Theorie des Statischen und des Dynamischen Lichtbogens // Archiv für Elektrotechnik, Vol. 37, No. 12, 1943, pp. 588–608.

И.А. Анохин, студ.; рук. А.В. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УСТРОЙСТВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ ОБЛАКОВ

Современные электронно-ионные технологии позволяют получать заряженные аэрозольные облака. Заряд такого аэрозольного облака создаёт напряжённость электрического поля, при которой возникают электрические разряды.

Электрические разряды создают электромагнитное поле, которое воспринимается антенной, создаётся сигнал, регистрируемый цифровым запоминающим осциллографом. Полученный сигнал анализируется с целью определения его спектрального состава.

Спектральный состав определяется с помощью программы MATLAB, применяя быстрое преобразование Фурье. Сравнивая состав электромагнитного импульса, сопоставляется со спектром импульса тока электрического разряда. Ток создаёт падение напряжения на сопротивлении шунта R=1 Ом с пренебрежимо малой собственной индуктивностью.

Сопло [1] одного из таких устройств для создания заряженных аэрозольных облаков представлено на рис. 1. Отличительной особенностью представленного в [1] устройства по сравнению с устройством в [2] является другой принцип измерения выходных параметров короны.

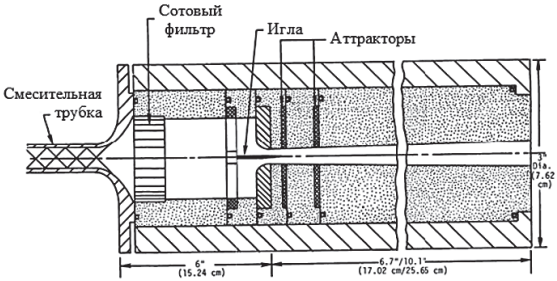


Рис. 1. Сопло устройства для создания заряженных аэрозольных облаков

Литература

1. **Frank G. Collins, W. Frost, P. Kessel.** Design of Prototype Charged Particle Fog Dispersal Unit // NASA Contractor Report 3481. — 1981.
2. **Л.М. Василяк, И.П. Верещагин, В.В. Глазков, И.Г. Кононов, А.В. Орлов, Д.Н. Поляков, О.А. Синкевич, М.В. Соколова, А.Г. Темников, К.Н. Фирсов.** Исследование электрических разрядов вблизи искусственного заряженного аэрозольного облака и из взаимодействие с лазерной искрой // Теплофизика высоких температур. — 2003. — том 41, выпуск 2. — С. 200–210.

А.В. Клубков студ.; рук. Д. А. Матвеев, н.с. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЁТ КОНСТРУКЦИИ РЕГУЛИРОВОЧНОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Часто при решении исследовательских и производственных задач необходимо плавно изменять переменное напряжение в широких пределах. Как правило, это осуществляется с помощью лабораторного автотрансформатора (ЛАТРа), но в мощных схемах ЛАТРы перестают быть эффективными из-за быстрого выхода из строя щеточного узла. Целью данной работы являлась разработка конструкции однофазного испытательного трансформатора 150 кВА, регулирование напряжения в котором происходит за счёт изменения индуктивной связи расположенных на магнитопроводе обмоток при перемещении подвижной короткозамкнутой обмотки относительно неподвижных.

Были рассчитаны основные параметры магнитопровода и обмоток. С помощью принципа дуальности магнитных и электрических цепей получена расчетная схема замещения [1]. Расчет индуктивностей рассеяния обмоток проводился методом двойных рядов Фурье. В результате численного моделирования в программе ATP были получены регулировочные характеристики – зависимость выходного напряжения трансформатора U_2 от положения подвижной обмотки y_3. Из них видно, что трансформатор обеспечивает плавное изменение напряжения почти во всем диапазоне при перемещении подвижной обмотки.

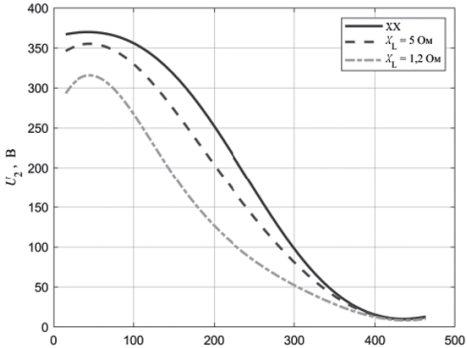


Рис. 1. Расчётная регулировочная характеристика на холостом ходу и при сопротивлениях индуктивной нагрузки XL 5 и 1,2 Ом

Литература

1. Duality derived transformer models for low-frequency electromagnetic transients / S. Jazebi, S.E. Zirka, M. Lambert et al. // IEEE Transactions on Power Delivery, 2016.

В.И. Карпенко, А.П. Болтунов, С.П. Васильев студ.;
рук А.А. Волошин к.т.н. зав. каф. РЗиАЭ. (НИУ «МЭИ»)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ПОТРЕБИТЕЛЯ И ПРОЦЕСС ОБЕСПЕЧЕНИЯ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ НАГРУЗКОЙ В МИКРОГРИД СЕТЯХ

Цифровизация электроэнергетики и развитие территорий, изолированных от единой энергосистемы являются приоритетными задачами в развитии энергетического сектора. Благодаря инновационным решениям и цифровым технологиям становится возможным более эффективно осуществлять управление и мониторинг. Чтобы достичь состояния максимальной простоты и полноты функционала в системы управления включают функции мониторинга режима, управления присоединениями к электрическим сетям, коммерческого и технического контроля электропотребления. Все это имеет в виду использование наиболее распространенных цифровых решений. Таким образом, интеллектуальные устройства становятся мини-компьютерами с операционными системами, на которых запускаются приложения. Каналы связи между устройствами устанавливают беспроводными для наибольшей гибкости системы.

Необходимо на этапах разработки, внедрения и эксплуатации систем включать в рассмотрение вопросы кибербезопасности. Большинство приложений разрабатывают на языке Java и в основном используют операционные системы windows и linux, уязвимости которых широко известны и находят все новые. Для исследования процессов происходящих внутри цифровых систем со стороны обеспечения безопасности были проанализированы документы: стандарт IEC 62443 [1], стандарт IEC 62351 [2] методика моделирования угроз безопасности информации ФСТЭК [3].

Список литературы

1. IEC 62351 , «Power systems management and associated information exchange. Data and communications security».
2. IEC 62443, Industrial communication networks. Networks and system security.
3. ФСТЭК России, Методика определения угроз безопасности информации в информационных системах, 2015.

С.П. Васильев, А.П. Болтунов, В.И. Карпенко, студенты;
рук-ли А.А. Волошин, к.т.н.; Е.А. Волошин, асс. (НИУ «МЭИ»);
П.С. Васильев, к.т.н. (Государственное Собрание (Ил Тумэн) РС(Я))

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОЭНЕРГОСИСТЕМЫ В КОНЦЕПЦИИ УМНОГО ГОРОДА

Инженерные достижения, пропорциональные умножению потребностей населения, неизбежно ведут к стремительной урбанизации. Под напором большой социальной загруженности города преобразуются в эффективно развивающиеся инфраструктуры с основной целью создания здоровой, безопасной и комфортной среды для людей. Повсеместно интегрируются информационные технологии, разрабатываются устройства и приложения, автоматизирующие процессы во многих сферах промышленности.

В Указе Президента РФ акцентированы модернизация традиционной энергетики, развитие децентрализованной энергетики на основе источников распределенной генерации, первоочередно в труднодоступных и территориально удаленных районах, также внедрение цифровых систем управления объектами электросетевого хозяйства [1]. Одним из катализаторов развития децентрализованной энергетики является обеспечение энергоэффективности. Последняя достигается с помощью сглаживания графика электропотребления и повышение продуктивности выработки электроэнергии. Осуществляется перенос нагрузки «пиковых» часов в «базовые» или переход в островной режим — потребление с локальных источников генерации [2].

Моделирование микрогрид-системы на ПАК RTDS позволяет обратить внимание на особенности подключения ВИЭ с помощью элементов силовой электроники и на поведение ВИЭ при параллельном с энергосистемой и «островном» режимах работы. Облачные архитектуры в рамках предлагаемой системы управления значительно снижают ресурсозатраты на развертывание приложений, благодаря точному распределению ресурсов в зависимости от текущей нагрузки и имеющихся потребностей [3].

Литература

1. Указ Президента РФ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», №204, 7.05.2018.
2. **S. Vasilev, V. Karpenko, A. Boltunov, A. Voloshin, E. Voloshin, V. Volnyi** Intellectual aggregated load management system // Modern Electric Power Systems, Wroclaw, 2019.
3. **S.P. Vasilev, A.P. Boltunov, V.I. Karpenko, E.A. Voloshin, A. A. Voloshin, P.S. Vasilev** The micro-energy system deployment scenario with the application of distributed systems for power management // II IEEE RPA — 2019.

Р.С. Максимов, студ., Д.С. Бондарь, студ.;
рук. А.А. Волошин, к.т.н, Е.А. Волошин (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ НАГРУЗКОЙ ЗА СЧЕТ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ АДАПТИВНОЙ АЧР И ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ СЕТИ

Современное развитие энергетики заключается в применении полупроводниковых компонентов и создании на их основе интеллектуальных устройств — энергороутеров, необходимых для распределения электроэнергии (Рисунок 1). Применение энергетических роутеров позволяет управлять перетоками как активной, так и реактивной мощности, осуществить подключение систем электроснабжения с распределенной генерацией, а также они могут использоваться для изолированных энергосистем. Такое устройство должно поддерживать возможность удаленного управления, и в зависимости от уставки по передаваемой мощности передавать электроэнергию потребителю.

При работе энергороутера на изолированную нагрузку возникает проблема при передаче ЭЭ, которая заключается в том, что в состав энергороутера входит инвертор, который поддерживает напряжение на нагрузке, вследствие чего отсутствует возможность управлять мощностью из-за баланса мощности. Благодаря размещению исполнительных органов адаптивной АЧР на отходящих фидерах появляется возможность управлять нагрузкой путем изменения частоты синусоиды инвертора. При отклонении мощности от уставки, система управления инвертора будет воздействовать на изменение частоты сети, вследствие чего происходит срабатывание адаптивной АЧР.

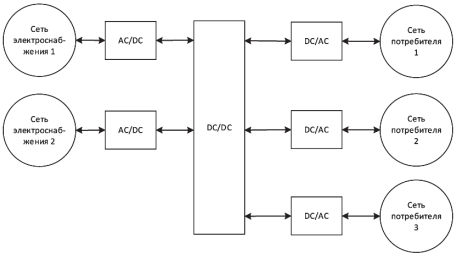


Рис. 1. Энергороутер

В работе исследуется возможность управления потребляемой нагрузкой за счет совместного действия адаптивной АЧР и инвертора. Основным преимуществом такого применения АЧР является то, что управление происходит без передачи цифровых сигналов между нагрузкой и инвертором

Литература

1. Design and Control for Three-Phase Grid-Connected Photovoltaic Inverter with LCL Filter. Yun Chen, Fei Liu. 2009, IEEE Circuits and Systems International Conference on Testing and Diagnosis

Мунхтулга Е., студент.; рук. Т.Г.Климова, к.т.н., доц. (НИУ, «МЭИ»)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРВАНИЕ ЦЭЭС МОНГОЛИИ

Площадь территории Монголии составляет 1,5 миллионов км^2, а население около 3 миллионов человек. Страна богата различными полезными ископаемыми, включая значительные запасы угля, горючего сланца, которые в обозримом времени будут оставаться основными видами топлива для энергетики, наравне с другими видами перспективных энергетических ресурсов.

Как следует из данных, 92,6% генерирующих мощностей Монголии сосредоточено в Центральной электроэнергетической системе (ЦЭЭС), которая охватывает более 60% территории страны и 80% потребляемой электроэнергии производится в стране, а 20% импортируется из России и Китая. Электроэнергетические системы Монголии представлены линиями электропередачи напряжением 110, 220 кВ, а также 0,4, 6, 10, (15), 35 кВ.

Из анализа схемы ЭЭС Монголии следует, что линии ВЛ-220 кВ находятся в допустимых пределах по передаваемой мощности и протяженности, а протяженность линий ВЛ-110, 35 кВ превышает нормируемые значения, что снижает пропускную способность ВЛ и нарушает нормальный режим их работы. Например, протяженность ВЛ-110 кВ Булган-Мурэн-Улиастай-Алтайской составляет почти 1000 км. Это негативно влияет на весь процесс ее функционирования, снижает пропускную способность ВЛ и усложняет эксплуатационные режимы работы системы и снижает чувствительность релейной защиты.

В данной работе разработана математическая модель ЦЭЭС Монголии в программе MATLAB. Математическое моделирование необходимо для понимания и точного прогнозирования поведения сложных систем. Эта модель позволяет решать важнейшие задачи, такие как:

- Прогнозирование и оптимизация поведения системы.
- Проектирование систем управления и релейной защиты.
- Описание реакции системы.

В разработанной математической модели представлены воздушные линии электропередачи (ВЛЭП), трансформаторные подстанции с напряжением выше 110 кВ и все тепловые электрические станции.

Программа MATLAB позволяет в разработанной моделе проверить работоспособность ЦЭЭС Монголии в различных схемно-режимных ситуациях. Также при моделировании исследуется возможность использования синхронизированных векторных измерителей для повышения наблюдаемости и управляемости ЦЭЭС.

Литература

1. **Баяр Б, С.Батмунх, Н.И.Воропай, В.А.Стенников.** Некоторые вопросы стратегии развития энергетики Монголии / Энергетическая политика.: Москва: 2016, Выпуск 6. стр 95-105

М.А. Шкилькова, студ.; рук. А.А. Белогловский. к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ЧЕХЛЕ УНИПОЛЯРНОГО КОРОННОГО РАЗРЯДА

Развитие электрических разрядов в газах определяется характером распределения и значениями напряжённости электрического поля (ЭП) там, где развивается разряд [1]. Поэтому параметры поля определяют форму и свойства разряда, электрическую прочность разрядного промежутка.

Для изучения разрядов широко применяется их математическое моделирование, поскольку экспериментальные исследования не всегда возможны из-за малых размеров области пространства, занятой разрядом, и искажений поля, вносимых измерительным оборудованием.

Выполнено конечно-разностное моделирование процессов в чехле униполярного коронного разряда в системе «коаксиальные цилиндры», заполненной воздухом при нормальных атмосферных условиях. Исследовано влияние радиуса R_0 коронирующего электрода КЭ (при неизменном приложенном напряжении U) и величины U (при неизменных значениях R_0 и радиуса R_1 внешнего заземлённого электрода ЗЭ) на значения и распределения напряжённости ЭП E. Влияние напряжения U на значения ЭП иллюстрирует табл. 1 при R_0=0,1 см и R_1=2,1 см. В соответствии с приведёнными в [1] выражениями начальное напряжение межэлектродного промежутка при этом составляет $U_н$=19,09 кВ, его начальная напряженность — $E_н$=62,7 кВ/см. В табл. 1 E_{max} — максимальная напряжённость на поверхности КЭ, E_{R1} — на поверхности ЗЭ, δE — расхождение между E_{max} и $E_н$.

Табл. 1. Значения характеристик электрического поля в зависимости от величины U

U	1,05 $U_Н$	1,1$U_Н$	1,15$U_Н$	1,2$U_Н$
Emax, кВ/см	60,09	60,63	61,01	61,29
dE, %	4,16	3,30	2,70	2,25
ER1, кВ/см	4,38	5,02	5,67	6,31

Из табл. 1 видно, что значения E_{max} слабо зависят от величины U, но с её ростом значительно (на 44,1%) увеличиваются значения E_{R1}. Это обеспечивает равенство разности потенциалов между электродами приложенному напряжению: $\int_{R0}^{R1} E(r)dr = U$.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Чувашской Республики в рамках научного проекта № 19-48-210005 р_а.

Литература

1. Электрофизические основы техники высоких напряжений: учебник для вузов / И.М. Бортник и др.; под общ. ред. И.П. Верещагина. — 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010.

Секция 57.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Председатель секции — Бутырин Павел Анфимович
Секретарь секции — Жохова Марина Павловна

К.С. Рослова, студент; рук-ли Т.А. Васьковская, д.т.н. доц.;
М.П. Жохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ С ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ГЕНЕРАТОРА

Представление трехфазных цепей в однолинейном виде связано с использованием упрощенного топологического списка и компонентных матричных уравнений для токов и напряжений трехфазных элементов [1]. Такое представление позволяет проводить машинный расчет трехфазных цепей с динамической нагрузкой [2]. Данный подход позволяет применить для расчета токов и напряжений в какой-либо части трехфазной цепи метод эквивалентного генератора по аналогии с использованием этого метода в однофазных цепях (Рис. 1). Определяются параметры трехфазного эквивалентного генератора и проводится расчет токов и напряжений в нагрузке для четырехпроводной и трехпроводной трехфазной цепи. Использование метода эквивалентного генератора иллюстрируется на примере расчёта сложной трехфазной цепи с динамической нагрузкой и фазной несимметрией.

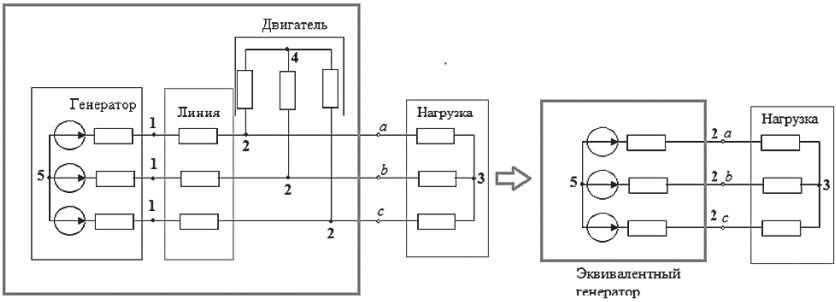


Рис. 1. Эквивалентное преобразование трехфазной цепи

Литература

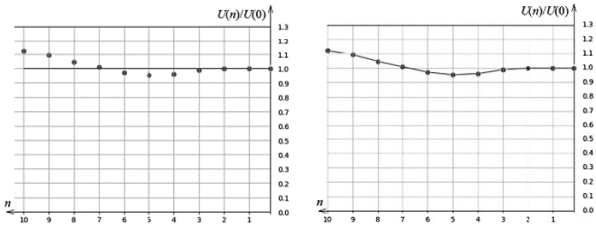
1. **M. Jereminov** An Equivalent Circuit Formulation for Three-Phase Power Flow Analysis of Distribution Systems // Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), 2016 IEEE/PES. — IEEE, 2016. — Pp. 1–5.
2. **А.С. Оголь, К.С. Рослова** Машинный расчет трехфазных цепей// Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцать четвертая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (Москва, 15–16 марта 2018 г.): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2018. — С. 391

В.Г. Отрашкевич, И.А. Челтыбашев, студенты; рук-ли Л.В. Алексейчик, д.т.н. проф.; М.П. Жохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УЧЕТ МАЛЫХ ПОТЕРЬ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДЛИННОЙ ЛИНИИ

В докладе рассматривается задача учёта малых потерь при моделировании длинной линии каскадным соединением четырёхполюсников. Данная тема является актуальной, так как выбор модели определяет точность расчетов и их соответствие реальным физическим процессам. В [1, 2] рассматриваются вопросы моделирования длинных линий каскадным соединением четырехполюсников, предложены типовые модели кабельной линии передачи.

Было замечено, что при проведении эксперимента при моделировании линии как линии без потерь каскадным соединением четырехполюсников на частоте 10 кГц, 12,5 кГц и 15 кГц экспериментальные данные отличаются от теоретических (рис. 1, а), при этом погрешность измерения используемого прибора не является причиной расхождения. В докладе представлена методика определения малых потерь модели и учета малых потерь при моделировании линии каскадным соединением четырехполюсников. Проведено исследование частотных зависимостей вторичных параметров линий с малыми потерями, сравнение теоретических и экспериментальных данных при использовании более точных моделей (рис. 1, б).



а) б)

Рис. 1. Экспериментальные и теоретические данные до (а) и после (б) уточнения модели

Литература

1. **К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин.** Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том. 2 — СПб.: Питер, 2003.
2. **Баскаков С.И.** Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 2000.

М.В. Карпунина, аспирант; Д.Е. Жохов, бакалавр;
рук-ль О.И. Артюхов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ В УЧЕБНЫХ ЗАДАЧАХ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

В докладе представлен обзор программных средств и ресурсов, применяемых в электротехнике, изложены основы технологий машинного расчета электрических цепей; проведена систематизация типов расчетных работ и выделены два основных класса: программируемая модель и виртуальная имитационная модель. Программируемая модель создается с помощью команд и операторов на языке программирования системы (рис. 1). Виртуальные имитационные модели наиболее удобны при моделировании учебных задач, так как наглядны и приближены к изображению схемы электрической цепи (рис. 2). Модель может содержать различные генераторы входных сигналов, большую элементную библиотеку и виртуальные приборы. Проведено обоснование выбора инструментальной среды MATLAB и принципов создания программируемых моделей (*m-файлов) и виртуальных имитационных моделей (*slx-файлов) в этой среде. Приводятся примеры использования моделирования для виртуализации электротехнической лаборатории (протоколы выполнения лабораторной работы в физической лаборатории и ее виртуального аналога).

```
1      %% Задайте Т-схемою в формате [1;2;3]
2 -    begin_nodes = [1;2;4;3;3;5;6;7;5;7;10;8;9];
3 -    end_nodes = [2;3;1;4;6;5;8;8;7;9;10];
4 -    Gv = [1;1;1;1;1;1;1;2;1;1;1;1;1];
5 -    Jv = [1;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;1];
6
7      % Формирование расширенных (полных) матрицы узловых проводимостей и вектора
8      %задающих токов
9 -    n=max(max(begin_nodes),max(end_nodes)); %всего узлов
10 -   N=length(Gv); %всего ветвей
11     %-----------------------------------------------------------------
12     % введите размерность матриц Gp и Jp
13     %-----------------------------------------------------------------
14 -   Gp = zeros(10,10);
15 -   Jp = zeros(10,1);
16 -   Ap = zeros(10,13);
17     %Ub = zeros(13,13);
18 -   for i=1: 13 % сколько раз должен отработать цикл for?
19 -   k=begin_nodes(i);
20 -   l=end_nodes(i);
21     %-----------------------------------------------------------------
22     % введите выражение для пошагового расчета матрицы узловых проводимостей,
23     % вектора задающих токов, матрицы соединений
24 -   Gp(k,k)=Gp(k,k)+Gv(i);
```

Рис. 1. Программируемая модель

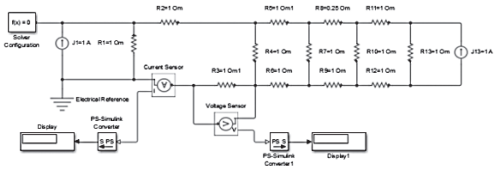


Рис. 2. Виртуальная имитационная модель

Литература

1. Информационные технологии электротехники: учебное пособие / под ред. П.А. Бутырина. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
2. Джендубаев А.-З. Р., Алиев И.И. MATLAB, Simulink и SimPowerSystems в электроэнергетике. Учебное пособие. — Черкесск: БИЦ СевКавГГТА, 2014. — 136 с.

А.А. Титов, К.А. Коваль, студенты;
рук. В.Я. Логинов, к.т.н., доц. (РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва)

ИНТЕРПРЕТАЦИИ ВТОРОГО ПРАВИЛА КИРХГОФА В УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЕ

Некоторые авторы современных публикаций по электротехнике без оснований используют формулу второго правила Кирхгофа собственной интерпретации, например, для одного из контуров электрической цепи (ЭЦ) постоянного тока:

$$\Sigma E = \Sigma(I \cdot R) + \Sigma U, \quad (1)$$

где ΣE — алгебраическая сумма ЭДС источников в контуре,

$\Sigma (I \cdot R)$ — алгебраическая сумма падений напряжений на резистивных элементах контура,

ΣU — алгебраическая сумма напряжений на выводах других элементов, входящих в контур (например: напряжение сети, напряжение, снимаемое с делителя напряжения и т.д.).

Бездоказательные интерпретации второго правила Кирхгофа совершенно недопустимы в учебной литературе по электротехнике. В качестве примера приведен фрагмент из учебного пособия для ВУЗов [1] (стр. 19, 20). При всем уважении к авторам [1] аргумент «удобнее» не может служить достаточным основанием для произвольной интерпретации формы и смысла второго правила Кирхгофа.

Для установления истины приведен фрагмент академического издания первоисточника [2] (стр. 165, 166) с доказательством Кирхгофом теоремы о двух правилах в замкнутой электрической цепи.

Интерпретация второго правила Кирхгофа (аналог формулы (1) с одним разрывом ЭЦ), также часто используемый в литературе, может быть получен преобразованием общей формулы Ома для активного двухполюсника.

Таким образом, формула (1) и тому подобные вариации не являются вторым правилом Кирхгофа ни по форме ни по сути.

Приведенное выше формальное опровержение интерпретаций (1) и подобных второго правила Кирхгофа подтверждено фактическим анализом условно разомкнутых и замкнутых электрических цепей с привлечением компьютерных приложений: MultiSim (имитация на ЭВМ электрических цепей) и MathCad (математическое моделирование на ЭВМ электрических цепей).

Литература

1. **Борисов Ю.М., Липатов Д.Н., Зорин Ю.Н.** Электротехника. Учебное пособие для ВУЗов. Энергоатомиздат. Москва. 1985. 552 с.
2. **Кирхгоф Густав.** Научные труды. М.: Наука, 1988. 425 с.

А.А. Земцова, Я.В. Раицкая, студенты;
рук-ли Ф.Н. Шакирзянов, проф.; А.А. Кваснюк, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

СОЛНЦЕ — ИМПУЛЬСНЫЙ ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ

В работе подвергается критике гипотеза Х.А. Бете, по которой источником солнечной энергии является непрерывно протекающая в солнечном ядре термоядерная реакция протон-протонного цикла [1].

Предлагается новая модель, в соответствии с которой источником солнечной энергии могут быть не только реакция синтеза гелия из ядер водорода, но и любые другие, например, дейтериевые, дейтерий-тритиевые, литий — дейтериевые и т.д. импульсно-протекающие реакции [2], [3].

Действительно, температура зоны термоядерных реакций (ядра) Солнца могла бы быть и гораздо выше порядка 100–150 миллионов градусов, если ядро было бы охвачено некоторым изолирующим слоем, затрудняющим истечение энергии из ядра в следующие за ядром слои: зону радиации и далее в зону конвекции, фотосферу и хромосферу.

Термоядерная вспышка освобождает гигантскую порцию электромагнитной энергии, излучение которой раздвигает среду, образуя фотонный домен — сферическую полость с гиперпроводящими стенками, заполненную электромагнитной энергией. В результате зона термоядерного взрыва изолируется от ядра, реакция в ней прекращается. Остается фотонный домен — пузырь, сферический объёмный резонатор с гигантской плотностью электромагнитной энергии (концентрацией фотонов).

Пузырь слипается с себе подобными и образует пузырьковый кристалл, охватывающий зону термоядерных реакций в ядре. Возникает изолирующий пузырьковый слой, существенно замедляющий скорость передачи энергии от ядра к поверхности Солнца. Поэтому разница температур ядра и поверхности может быть на порядок больше, чем в модели Бете. Внутри пузырькового слоя термоядерные реакции протекают импульсно.

Литература

1. **Hans A. Bethe and Edwin E. Salpeter**. Quantum mechanics of one- and two-electron atoms. — Berlin: Springer, 1957
2. **Дубовиченко С.Б.** Термоядерные процессы в Звёздах и Вселенной. Palmarium Akademic Publishing, Алматы, 2015, **ISBN:** 978-3-659-60165-1, 348с
3. **Фрауэнфельдер Г., Хенли Э**. Субатомная физика. — М.: Мир, 1979.

Д.М. Амирова, А.А. Бобылёва, студенты; рук-ли Ф.Н. Шакирзянов, проф.; Д.В. Михеев, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЛОКАЛЬНЫЕ ОБЛАСТИ ФОТОННОГО ПРОСТРАНСТВА

Шаровая молния, ядерные и термоядерные взрывы, неопознанные летающие объекты, супервспышки, хромосферные вспышки и пятна на Солнце, взрыв сверхновой звезды… Казалось бы, что общего может быть между этими объектами пристального изучения учеными различных специальностей? Между тем все эти явления связаны с выделением гигантской энергии и, в том числе, электромагнитной энергии. Возникает вопрос, какие максимальные плотности электромагнитной энергии могут быть сконцентрированы в веществе, вакууме?

С целью ответа на эти вопросы в работе рассмотрены особенности электромагнитного поля в вакууме, то есть особенности пространства, заполненного фотонами. Показано, что вакуум является самым ёмким накопителем энергии. Максимальная плотность энергии в нем многократно превосходит плотность энергии в природном топливе (угле, нефти, газе), расщепляющихся материалах и сырье для термоядерного синтеза [1].

Локальные вакуумные области пространства с гигантской плотностью электромагнитной энергии — фотонные домены — возникают как в результате естественных, так и в результате искусственных процессов, т.е. существуют естественные и искусственные фотонные домены, границы которых формирует само фотонное пространство.

Естественным примером существования фотонных доменов является шаровая молния. В ряде работ, например, в [2] была подробно изложена резонаторная электромагнитная модель шаровой молнии, объясняющая все известные ее свойства, а также механизмы ее возникновения и гибели. Возникают фотонные домены, видимо, и при ядерных и термоядерных взрывах в атмосфере, а также при подводных и подземных взрывах. И, наконец, звезды и звездные образования с протекающими в них термоядерными реакциями. В каждой зоне термоядерного взрыва могут образовываться области фотонного пространства, фотонные домены, играющие важную роль в процессах передачи энергии от ядра звезды в верхние её слои и корону.

Литература

1. **Клапдор-Клайнгротхаус Г.В., Цюбер К.** Астрофизика элементарных частиц // М.: Изд-во УФН, 2000.
2. **Шакирзянов Ф.Н.** Электромагнитная модель шаровой молнии // Электричество. 1999. №10. С. 74–77.

М.В. Карпунина, аспирант; рук. М.П. Жохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНЫХ ПОТЕРЬ В КАТУШКЕ С ФЕРРОМАГНИТНЫМ СЕРДЕЧНИКОМ ПО КРИВЫМ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА

При подключении катушки с ферромагнитным сердечником к источнику синусоидального напряжения мгновенное значение тока имеет вид периодической несинусоидальной кривой. Вид кривой свидетельствует о наличии активных потерь в сердечнике, которые связаны с потерями на гистерезис и вихревые токи [1]. Расчет активной мощности необходим для определения параметров схемы замещения катушки. Определение активной мощности по петле гистерезиса трудоемко, так как необходимо рассчитывать площадь петли гистерезиса, расчет в основном проводится по приближенным формулам [2]. В докладе предложен алгоритм расчета активной мощности по кривым мгновенных значений напряжения и тока. Экспериментальные кривые напряжения и тока получены с использованием блоков программно-технического комплекса «DeltaProfi» и обработкой данных эксперимента на ПК (рис. 1). По дискретным значениям рассчитываются действующее значение тока и активная мощность. Использование дискретного преобразования Фурье позволяет определить гармонические составляющие несинусоидального тока. Проведен расчет активной мощности по активной составляющей тока (мощность по Фризе) и по первой гармонике (мощность по Будяну) (рис. 2). Для серии экспериментов при разных действующих значений и частоты источника проведено сравнение полученных результатов.

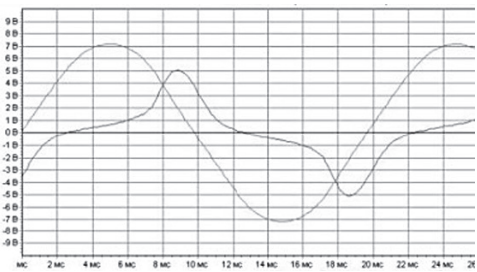


Рис. 1. Кривые тока и напряжения

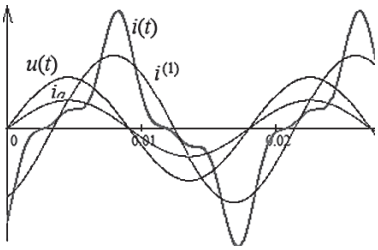


Рис. 2. Разложение тока на составляющие

Литература

1. **К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин.** Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том. 2 — СПб.: Питер, 2003.
2. **Карельцев А.К.** Математические модели намагничивания ферромагнитных сердечников — М.: Издательство МЭИ, 1990.

Е.Д. Гандурин, студ; рук-ли М.С. Фадеева;
Г.А. Шмелева к.п.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОНДЕРОМОТОРНЫХ СИЛ В НЕОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Целью работы являлось моделирование магнитного поля (МП) аналитическим и численным методами. Рассмотрено МП однородно намагниченного стержня высотой ℓ в виде «магнитного щупа». Торец стержня имеет вид полусферы радиусом a. Намагниченность стержня равна $\vec{M}$. Метод фиктивных «магнитных зарядов» [1] позволил найти напряжённость магнитного поля $H(z)$ на оси стержня Z (начало оси в центре полусферы):

$$H(z)=\frac{M}{6}\left(1+2\left(\frac{a}{z}\right)^3+2\left(1+\left(\frac{a}{z}\right)^2\right)^{3/2}-3\left(1+\left(\frac{a}{z}\right)^2\right)^{1/2}\right).$$

При одинаковой намагниченности стержня МП более тонкого «магнитного щупа» убывает быстрее и на больших расстояниях стремится к нулю. Сила $\vec{F}$, действующая на магнитные моменты атомов вещества $\vec{p}_m$ в неоднородном МП с индукцией $\vec{B}$, $\vec{F}=(\vec{p}_m\nabla)\vec{B}$. Пондеромоторная сила, действующая на малых расстояниях, больше для тонкого стержня.

Численный расчёт МП выполнен с применением прикладного программного пакета Radia в системе Wolfram Mathematica 9. Сравнение МП численным и аналитическим методами представлено на рис. 1, где сплошной график — аналитический расчет. Получено хорошее соответствие аналитической и численной моделей. Условная намагниченность образца равна 100 *А/м*, радиус стержня 1 *мм*.

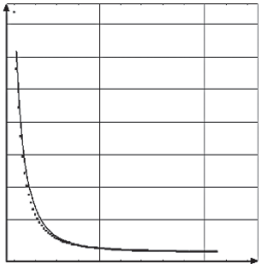


Рис. 1. Сравнение расчетов

Применение полученных результатов возможно в разработках, связанных с определением МП различных тел, исследованиях МП постоянных магнитов.

Литература

1. **Тамм И.Е.** Основы теории электричества: Учеб. пособие для вузов. — 11-е изд., испр. и доп. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 616 с.

М.А. Королев, К.А. Бойков, В.А. Варламова; руководитель О.В. Толчеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ПРОВОДЯЩЕЙ БУМАГЕ

Для моделирования плоскопараллельных электрических полей применяют проводящую бумагу или электролит [1]. Основной характеристикой исследуемой бумаги является проводимость, которая существенно зависит от окружающей среды (температуры, давления и т.д.). В литературе проводимость бумаги называется поверхностной проводимостью [2], в других источниках она упоминается как объёмная проводимость.

В работе даётся чёткое определение проводимости проводящей бумаги, описываются простые методы экспериментального измерения проводимости бумаги. На рис. 1 представлена схема, служащая основой для измерения проводимости бумаги. В процессе моделирования используется не сама проводимость бумаги, а эквивалентная проводимость, которая учитывает толщину бумаги. Эквивалентная проводимость с одной стороны учитывает толщину бумаги, а с другой — не зависит от её толщины. Такая проводимость имеет эффект двойного моделирования.

На основе эквивалентной проводимости исследуются электростатические поля двухжильных кабелей.

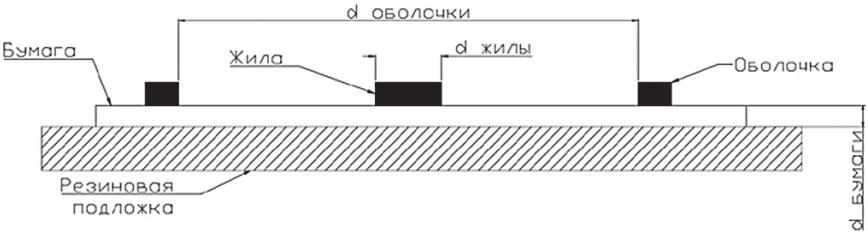


Рис. 1. Схема для измерения проводимости бумаги.

Литература

1. **Поливанов К.М.** Теоретические основы электротехники, ч. 3. Теория электромагнитного поля, М.: Энергия, 1969. — 352 с
2. Лабораторный практикум по курсу «Теоретические основы электротехники», электромагнитное поле / Под ред. В.В. Каратаева, М.: Издательство МЭИ, 2003. — 160 с

А.В. Толстопятова, аспирант; М. Сыздыкова, Е.Е. Пашковская, студенты; рук-ли Ф.Н. Шакирзянов, проф; С. А Абдулкеримов, доцент, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЦЕССЫ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ НА СОЛНЦЕ

В работе рассматриваются процессы передачи электромагнитной энергии, генерируемой в результате термоядерных реакций синтеза, из солнечного ядра в зону радиации, конвективную зону, фотосферу, хромосферу, корону и далее во Вселенную.

В 1935 году Ханс Альбрехт Бете выдвинул гипотезу, по которой источником солнечной энергии может быть термоядерная реакция синтеза — превращения водорода в гелий [1]. Эта гипотеза, за которую Х.А. Бете в 1967 году получил Нобелевскую премию, является в настоящее время общепринятой [2]. Однако, наблюдения за Солнцем и другими, подобными ему желтыми карликами класса G2 выявили ряд явлений, который гипотеза Бете не объясняет. Эти явления связаны с процессами передачи энергии.

Предложена новая модель [3], в соответствии с которой ядро Солнца является термоядерным котлом пузырькового кипения, в котором протекает не только реакция синтеза протон — протонного цикла, но и любые другие. Роль пузырьков в этих котлах играют фотонные домены. В соответствии с этой моделью электромагнитная энергия передаётся из ядра в периферийные зоны Солнца не только электромагнитными волнами, но и акустическими волнами, а также всплывающими фотонными доменами — пузырями, образующимися при каждой термоядерной вспышке внутри ядра.

В работе рассчитана скорость электромагнитных волн в ядре, зоне радиации, конвективной зоне Солнца, а также определена скорость всплытия фотонных доменов с запасённой в них электромагнитной энергией в этих зонах. Результаты расчётов позволяют сравнить эффективность различных механизмов переноса электромагнитной энергии внутри Солнца.

Литература

1. **Hans A. Bethe and Edwin E. Salpeter.** Quantum mechanics of one- and two-electron atoms. — Berlin: Springer, 1957. 368 p.
2. **Дубовиченко С.Б.** Термоядерные процессы в Звёздах и Вселенной. Алматы, Palmarium Akademic Publishing, 2015. 348 с.
3. **Шакирзянов Ф.Н.** Солнце — импульсный генератор электромагнитной энергии // Материалы: XXVI Международной конференции «Электромагнитное поле и материалы (фундаментальные физические исследования)». М.: Изд. МЭИ,2019. С. 94–99.

М.В. Карпунина, асп.; Е.А. Белова, Э. Меконнен, студ.;
рук-ли Г.Г. Гусев, д.т.н., проф.; Д.В. Михеев, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УСТАНОВИВШИЕСЯ РЕЖИМЫ И ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В КАТУШКЕ-КОНДЕНСАТОРЕ

Катушка-конденсатор (каткон) является пассивным элементом электрической цепи, сочетающим одновременно индуктивные и емкостные свойства. Эта особенность позволяет создавать на основе каткона различные электротехнические устройства с улучшенными массогабаритными и стоимостными показателями. Актуальной является задача анализа стационарных и нестационарных режимов работы данных устройств и комплексов на базе каткона.

В работе решаются задачи разработки математической модели каткона для анализа установившихся режимов при различных характерах и значениях сопротивления нагрузки, а также частот источника, математической модели для расчёта переходных процессов в катконе, компьютерного моделирования стационарных и нестационарных режимов работы каткона, проведения экспериментальных исследований физической модели устройств и комплексов на базе каткона в стационарных и нестационарных режимах.

Получены теоретические и экспериментальные вольт-амперные, нагрузочные и частотные характеристики физической модели каткона при различных видах нагрузки, представлены теоретические и экспериментальные осциллограммы переходных процессов при включении физической модели каткона на источник постоянного, синусоидального и несинусоидального напряжения. Подтверждена адекватность, точность и корректность предложенных математических моделей.

Полученные в рамках проведённого исследования результаты могут быть востребованы при решении задач создания, проектирования и эксплуатации фильтрокомпенсирующих и токоограничивающих устройств на базе каткона в системах электроснабжения потребителей и распределительных электрических сетях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-08-00730 А.

Литература

1. **Бутырин П.А., Гусев Г.Г., Михеев Д.В., Карпунина М.В., Кваснюк А.А., Шакирзянов Ф.Н.** Моделирование переходных процессов в катушке-конденсаторе при импульсном воздействии // Известия РАН. Энергетика. 2019. №1. С. 109–122.

Секция 58.
ТЕХНИЧЕСКОЕ ТВОРЧЕСТВО СТУДЕНТОВ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Председатель секции — Файрушин Николай Искакович
Секретарь секции — Клюева Людмила Вадимовна

Д.И. Букалов, Н.С. Бачинский, студенты;
рук. Е.А. Слепышев (Филиал МЭИ в г. Конаково)

ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Энергосистема постоянно меняется и развивается в соответствии с ожиданиями потребителя. Соответствие возможностей энергосистемы и ожидания потребителя — и есть основной индикатор эффективности энергосистемы.

Сегодня развитие научно-технического прогресса обусловило существенные изменения ожидания потребителя. Электроэнергетика — технологически сложная и инерционная отрасль — оказалась не готовой к подобной динамике развития. Для того, чтобы восполнить образовавшийся пробел между ожиданиями потребителя и возможностями энергосистемы, необходимы критические изменения как в структуре энергосистемы, так и в системах управления.

На примере Пеновского РЭС филиала ПАО «МРСК Центра» было проанализировано текущее состояние участка электрических сетей: протяженность и конфигурацию линий, количество и мощность потребителей, число и длительность отключений потребителей, количество недоотпущенной электроэнергии.

Проведен анализ современных технологий электросетевого комплекса для снижения аварийности и повышение наблюдаемости сети, предложены мероприятия по цифровизации сети.

Были спроектированы места установок реколузеров 10кВ и индикаторов короткого замыкания. На головных подстанциях предусмотрена установка современного оборудования, позволяющего обнаруживать места повреждений

Рассчитаны показатели SAIDI/SAIFI до и после предложенных мероприятий, показывающие на какое время прерывалось энергоснабжение среднестатистического потребителя в течении года и сколько раз в год возникали перебои в энергоснабжении среднестатистического потребителя. Чем меньше значения SAIDI/SAIFI, тем выше уровень надежности энергоснабжения. Показатель SAIDI уменьшился в 1.7, а SAIFI в 1.8 раза.

Литература

1. **Хасанзянов Б.Ф.** О реклоузерах // Молодой ученый. — 2014. — №7. — С. 188–190.
2. **Мирошник В.Ю., Батулько Д.В., Ляшков А.А.** Методы и алгоритмы для определения места однофазного замыкания на землю в сетях 6–35 кВ с использованием параметров аварийного режима // Омский научный вестник. — 2017. — С. 65.

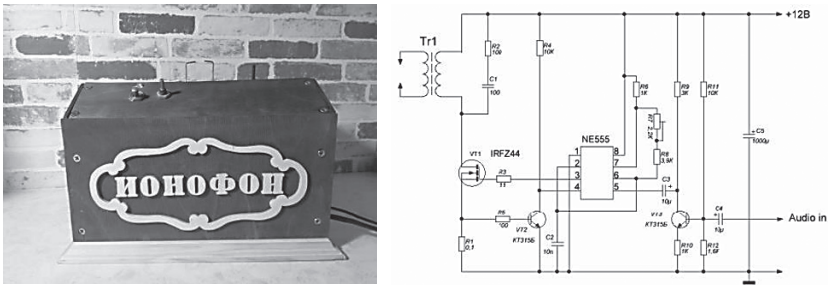
Д.И. Букалов, студ.; рук. С.Н. Золина (Филиал МЭИ г. Конаково)

ИОНОФОН «ПОЮЩАЯ ДУГА»

Актуальность данной темы состоит в исследовании причины возникновения и существования электрического разряда в газах, ионизации газа, различных типов самостоятельного разряда и их технического применения. Практическое применение теоретических знаний на примере самостоятельного изготовления демонстрационного прибора «ионофон».

В зависимости от свойств и состояния газа, характера и расположения электродов, а также от приложенного к электродам напряжения возникают различные виды самостоятельного разряда: тлеющий, коронный, искровой, дуговой разряды и плазма.

Дуговой разряд может продемонстрировать прибор «ионофон», который изготовлен самостоятельно студентом филиала МЭИ-КЭК. Схема и внешний вид прибора представлены ниже.



а) б)

Рис. 1. Ионофон (а) и его схема (б).

Подробные результаты исследований, описание методов расчётов и изготовление прибора приведены в докладе.

В результате работы над темой «Ионофон. Поющая дуга», была подробно изучена эта тема, с успехом применены теоретические знания для объяснения наблюдаемых физических явлений и для изготовления своими руками демонстрационного прибора «Ионофон». Он позволяет наглядно продемонстрировать дуговой разряд под действием высокого напряжения, изучить его и более глубоко показать практическое применение знаний физики.

Литература

1. **Детлаф А.А., Яворский Б.М., Милковская Л.Б.** Курс физики (в трех томах). Т. II. Электричество и магнетизм. Учеб. пособие для втузов. Изд. 4-е, перераб. — М.: Высшая школа, 1977. — 375 с.
2. **Калашников Э.Г.** Электричество. Изд. «Наука», Москва, 1977.

А.А. Сидоренко, П.А. Галенков, студ.; научный руководитель О.В. Файрушина,, преподаватель математики (Филиал МЭИ в г. Конаково)

ЛЕНТА МЁБИУСА — ЗАГАДКА СОВРЕМЕННОСТИ

Лента Мебиуса — простейшая неориентируемая поверхность, которая является односторонней в трехмерном пространстве и относится к топологическим объектам.

В работе с помощью модели с магнитами авторы показывают и рассказывают о необычных свойствах ленты Мебиуса: односторонности, непрерывности, ориентированности и связности. Проводят эксперимент с бумажной моделью.

Особое внимание в работе уделено применению листа Мебиуса в электронике. С помощью резистора, выполненного самими студентами, демонстрируется его безреактивность, которая нашла свое применение в высокочастотной технике.

Модели, выполненные студентами, пополнили музей колледжа и помогли раскрыть необъятный и красивый мир математики перед студентами и школьниками города.

Свойства этой топологической фигуры дают основания оставаться актуальной проблемой в настоящее время. Её дальнейшее использование даёт скачок в развитии многих отраслей, в частности самолетостроении, космонавтики, электротехники, генетики, атомной энергетики, программировании, робототехники

Литература

1. **Мартин Гарднер.** Математические чудеса и тайны — М.: Наука, 1978. 128 с.
2. Геометрия. 10–11 класс: учеб, для учащихся общеобразоват. учреждений (базовый и профильный уровни) / И.М. Смирнова, В.А. Смирнов. — 5-е изд., испр. и доп. — М.: Мнемозина, 2008
3. Энциклопедия для детей. Том 11. Математика Москва Аванта+ 2001 г. 688 с.
4. **Ерохин М.А.** Исследование листа Мёбиуса с точки зрения математики // Молодой ученый. — 2014. — №4. — с. 6–12. — URL https://moluch.ru/archive/63/10067/ (дата обращения: 30.11.2019). Объем: 0,68 п. л.

И.Д. Меркурьев, И.С. Буренок, студенты;
С.Н. Золина (Филиал МЭИ в г. Конаково)

ФОТОЭФФЕКТ И ЕГО ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

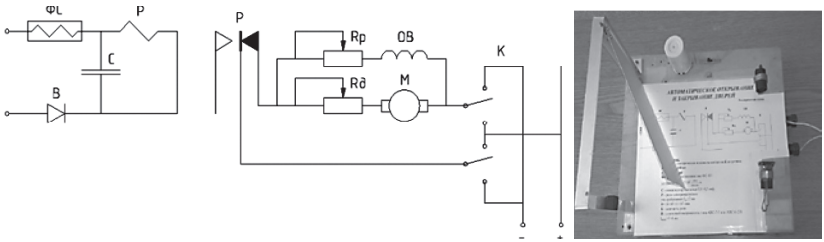
Данная работа посвящена рассмотрению фотоэффекта. Анализ этого явления привел к представлению о световых квантах и сыграл чрезвычайно важную роль в развитии современных теоретических представлений о природе света.

Актуальность этой темы состоит в том, что программой колледжа на изучение фотоэффекта отводится очень мало времени. Это один из важнейших разделов квантовой физики и его изучение дает возможность понять принцип работы многих современных приборов и технических устройств, с которыми придется сталкиваться и работать.

Целью работы является изучение теоретического материала и изготовление студентами демонстрационных приборов «Модель автоматического открывания и закрывания двери» и «Модель уличного освещения».

Фотоэлементы находят очень широкое применение в производстве. Фотоэлектрический эффект представляет интерес как явление, изучение которого сыграло особую роль в установлении правильного взгляда на природу света, и как теоретическая база для инженерной практики.

Изготовленные студентами приборы являются упрощенной копией реально действующих промышленных установок. С их помощью студенты видят реальное применение теоретических знаний по физике на практике и сами эти знания применяют, чтобы изготовить приборы.



а) б)

Рис. 1. Схема (а) и фото (б) прибора «модель автоматического открывания и закрывания дверей».

Подробные результаты исследований, описание методов расчётов и изготовление приборов приведены в докладе.

Литература

1. **Дмитриева В.Ф.** Физика: учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования-15-е изд., стер.-М.: Издательский центр «Академия», 2011. — 464с.
2. **Жданов Л.С.** Учебник по физике для средних и специальных учебных заведений — М.: Наука 1975.

Секция 59.
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА СРЕДНЕЙ АЗИИ

Председатель секции — Исмоилов Фирдавс Олимшоевич
Секретарь секции — Чоршанбиев Сироджиддин Ражаббокиевич

Бобоев Ф. Дж, ассистент (Таджикский национальный университет)

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

За годы суверенитета в отрасли электроэнергетика произошли определенные структурные и экономические изменения. Вся мощность электростанции в 2018 г. составила — 6197 тыс. кВт, по сравнению с 4500,2 тыс. кВт в 1990 г., или увеличилась на 37,7%. Годовая выработка электроэнергии в стране составляет более 19 млрд. кВт*ч. Ее прирост по сравнению с 2007 г. 2,2 млрд. кВт. ч или 12,6%. Структура производства электроэнергии в РТ значительно отличается от среднемировых показателей. Доля электрической энергии, выработанной ГЭС составляет 92–96% общего производства. Таджикистан покрывает около 70% своих потребностей в топливных ресурсах за счет их дорогостоящего импорта. Проблематичным вопросом для Таджикистана продолжает оставаться сезонная нестабильность спроса на внутреннем рынке электроэнергии: летом отсутствие спроса на электрическую энергию в объеме 5 млрд. кВт.ч., а в осенне-зимний период — дефицит до 3–3,5 млрд. кВт/ч. [1]

В соответствии с [2], потребление электроэнергии в 2018 году достигло 17,1 млрд. кВт. ч, что на 2,9% меньше уровня потребления 2007 года. В структуре потребления электроэнергии почти половина приходится на население, промышленное электропотребление составляет 22,1%. Наблюдается уменьшение потребления электроэнергии в сельском хозяйстве. Если потребление электроэнергии на душу населения в 2007 году составляло 2441,05 кВт.ч., то в 2017 году уменьшилось на 25,5%. Это обусловлено увеличением численности населения и вводом в эксплуатацию ДТЭЦ-2. В 2018 году экспорт электроэнергии составил 2,9 млрд. кВт. ч на сумму $77,1 млн., импорт ее составил 0,55 млрд. кВт. ч — на сумму $9,6 млн.

Существующие гидроэлектростанции функционируют уже более 30 лет, их технические возможности полностью исчерпаны. Более 50% оборудования, распределительных сетей и подстанций нуждаются в систематическом и капитальном ремонте. Потери электроэнергии в сети составляют 16%, что свидетельствует о необходимости улучшения состояния передающих и распределительных сетей.

Литература

1. Электронный ресурс http://www.tajhydro.tj/about-tajikistan/economy (Дата обращения 12.08.2019).
2. Статистический ежегодник Республики Таджикистан. — Душанбе, АСПРТ. — 2019. — С. 270–272. 478 С.

Ш.Н. Саидова док-нт PhD; научный рук. А.Д. Ахророва д.э.н., проф.
(ТТУ имени акад. М.С. Осими, Душанбе, Таджикистан)

УГРОЗЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БИЗНЕСА ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ИХ ОЦЕНКА

Особенностью энергетического бизнеса является значительная капиталоемкость при его особой социальной значимости. Значительная доля (96%) ГЭС в общей структуре генерирующих мощностей в Таджикистане свидетельствует о ее слабой диверсификации. В условиях отмечающегося потепления климата, сопровождающегося уменьшением осадков и увеличением спроса на воду и электроэнергию, особую актуальность приобретают вопросы прогнозирования стоков горных рек, рисков водообеспеченности ГЭС и угроз эффективности энергетического бизнеса и в целом энергетической безопасности страны. В настоящее время гидроэнергетический потенциал таджикских рек используется только на 3,77%. После завершения строительства Рогунской ГЭС коэффициент использования гидроэнергетического потенциала страны составит 4,3%.

Угрозы энергетического бизнеса и в целом энергетической безопасности страны обусловлены холостыми сбросами воды на ГЭС, заилением водохранилищ, слабым энергетическим менеджментом, неадекватной современным условиям тарифной политикой, и неэффективным использованием привлеченных финансовых ресурсов. Холостые сбросы воды на ГЭС страны в весенне-летний период из-за снижения спроса на внутреннем рынке и отсутствия возможности экспорта излишков электрической энергии (мощности) за период 2011–2017 гг. составили около 260 млрд. м^3, что равноценно недовыработке 34,31 млрд. кВт. час электрической энергии. При этом суммарные потери прибыли из-за отсутствия возможности экспорта электрической энергии составили $478,9 млн., а недополученные налоговые поступления в государственный бюджет составили свыше $71,81 млн. Исследование показало, что из-за просчетов на стадиях проектно-изыскательских работ 38% установленной мощности МГЭС не используется, замороженные финансовые ресурсы составляют около $7,42 млн., или 56% от общих привлеченных кредитных ресурсов на сооружение МГЭС [1]. Внешний долг (около $1,6 млрд.), аккумулированный в электроэнергетике страны, обуславливает необходимость повышения вклада электроэнергетики в его обслуживание.

Литература

1. **Ахророва А.Д., Бобоев Ф.Дж., Саидова Ш.Н.,** «Гидроэнергетический потенциал Таджикистана и эффективность его использования»// Вестник аджикскогоТехнического Университета. — Душанбе: 2016. — №4 (36), 2016. — С. 9–16. — 72 стр. (0,4 п. л.)

С.Ш. Ашуров, студ,
рук. С.Р. Чоршанбиев, к.т.н., асс. (ТТУ имени ак. М.С. Осими)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ОАХК «БАРКИ ТОЧИК» РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В настоящее время, практически ни в одной из электрических сетях развитых стран, в том числе Республики Таджикистан, задача снижение потерь электроэнергии не рассматривается как самостоятельная. Она решается как часть общей задачи повышение эффективности работы электрических сетей.

В современной энергосистеме Республики Таджикистан, когда производства электроэнергии в стране составляет около 16–19 млрд. кВт·ч [1,2] (в зависимости от года насыщения) наблюдается нехватка электроэнергии в осенне-зимний период. Эту проблему можно решить путем снижение потерь электроэнергии и рационального использования электроэнергии во всех частях электрических сетей, и в свою очередь повышать энергоэффективность.

При этом в данной работе рассматривается повышение эффективности работы электрических сетей ОАХК «Барки Точик» Республики Таджикистан за счет снижения технических потерь электроэнергии.

В работе первоначально выявлены электрические сети с высокими уровнями абсолютных и относительных потерь электроэнергии. После этого, были проведены расчеты нагрузочных потерь электроэнергии в этих электрических сетях. Расчет был проведен в программном комплексе РАП- стандарт [3]. Исходя из имеющейся информации, было принято, что потери электроэнергии в программном комплексе РАП-стандарт, будут рассчитываться методом наибольших потерь и средних нагрузок.

По результатам расчетов дан анализ уровню технических потерь электроэнергии. В итоге предложены мероприятия для снижения потерь электроэнергии и повышение эффективности работы в электрических сетях ОАХК «Барки Точик».

Литература

1. Информация за 2018 года Энергетическая компания (ОАХК) «Барки Точик». [Электронный ресурс] http://www.barqitojik.tj (Дата обращения 03.10.2019 г.).
2. **Чоршанбиев С.Р.** Повышение эффективности функционирования электрических сетей с распределенной солнечной генерацией за счет снижения технических потерь электроэнергии (на примере Республики Таджикистан): дис. … канд. техн. наук. Москва: Из-во МЭИ, 2019.
3. Руководство пользователя программа расчета и анализа потерь электроэнергии в основных сетях 110–750 кВ РАП-ОС-ст (версия 21–267). Железко Ю. С, Артемьев А.В. 2006 г. — 30. с.

А.М. Давлатов, асп;
рук. С.Г. Воронин д.т.н., проф г. Челябинский (НИУ ЮУрГУ)

ТЕНДЕНЦИЯ РАЗВИТИЯ МАЛЫХ ГЭС В ГОРНЫХ РЕГИОНАХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

В последнее время в мире возрастает интерес к альтернативным источникам энергии, использующим энергию ветра, солнца и малых рек. Одним из наиболее эффективных направлений развития нетрадиционной энергетики является использования энергии небольших водотоков с помощью микро — и малых ГЭС. Таджикистан — страна, где существует большое количества малых рек с небольшой величиной водотока, которые с успехом могут быть использованы для строительства мини — и микро ГЭС [1]. Каждая малая река имеет свою специфику: скорость течения, мощность водяного потока, глубину, особенность рельефа. В этих условиях очень сложно создать универсальный генератор, который удовлетворял бы всем требованиям. По этой причине серийно выпускаемые генераторы в каждом конкретном месте малой реке будут работать неэффективно, так как они спроектированы на конкретный режим работы. В этих условиях очень сложно получить максимально возможный КПД, требуемое напряжение, наилучшую установку генератора в месте эксплуатации. В связи с этим возникает проблема проектирования специального гидрогенератора для данной реки и конкретного места установки.

Одним из наиболее целесообразных путей повышения надёжности малых ГЭС является реализация их на основе конструктивно простых, бесконтактных и нерегулируемых устройств первичного преобразования энергии — турбины в виде центробежного насоса и генератора в виде синхронной бесконтактной машины. Генератор на основе синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ) является хорошо технологически отработанной и изученной машиной. Существенным недостатком СДПМ при использовании его в качестве генератора автономной энергетической установки является возможность возникновения катастрофических последствий в случае виткового замыкания в обмотке. Следовательно, возникает задача либо исключения таких замыканий, либо быстрого их обнаружения и останова генератора. Применение данной машины и введение устройств диагностики позволит реализовать автономный режим работы энергоустановки без привлечения обслуживающего персонала с дистанционной передачей данных о её состоянии на центральный диспетчерский пункт.

Литература

1. **Воронин, С.Г**. Автоматизированная мини-ГЭС как основа системы электроснабжения горных районов Таджикистана / // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». — 2019. — Т. 19, №3.

С.Дж. Шарифов магистр;
рук. Х.С. Сангов, к.т.н., асс (ТТУ имени академика М.С. Осими)

АНАЛИЗ СТАБИЛЬНОСТИ РАБОТЫ САМОВОЗБУЖДАЮЩЕГОСЯ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ МИКРО-ГЭС

Использование альтернативных источников энергоснабжения для восточных регионов Республики Таджикистан особенно актуально, вследствие их географического положения. Отдаленность этих территорий от линий электропередач определяет огромные материальные затраты по доставке энергоносителей. Основной возможностью использования альтернативных источников энергоснабжения для этих районов является наличие природных факторов, на основе которых возможно создание возобновляемых источников электроснабжения — это гидроресурсы рек и возможность использования энергии ветра в этих регионах. Применение асинхронных машин в генераторном режиме в автономных источниках электроснабжения имеет большое будущее, в частности, в микро — ГЭС при устойчивом режиме нагрузки [1]. В данной работе разработана математическая модель для анализа установившейся режима самовозбуждающегося АГ, представляющая собой систему уравнений по Второму Закону Кирхгофа для однофазной эквивалентной схемы замещения АГ, позволяющая при известных параметрах генератора и изменении резистивной нагрузки в широком диапазоне определить требуемое значение емкости конденсаторов возбуждения и оценить статическую устойчивость работы АГ [2]. На основании полученных данных из проведенных опытов было построено график напряжения на выводах АГ, как показано на Рис. 1.

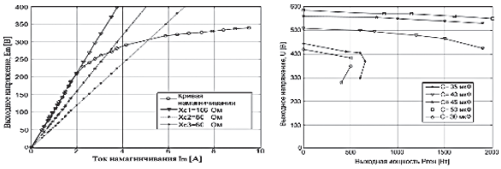


Рис. 1. Напряжение на выводах АГ в зависимости от выходной мощности для разных значений емкости при постоянной скорости n=1500 об / мин

Литература

1. **Исмоилов Ф.О.** Комплексное использование источников возобновляемой энергии в условиях Таджикистана // Политехнический вестник. Серия: инженерные исследования. 2017. Т. 1. №1 (37). С. 17–28.
2. **Шарафеддин К.Ф., Михеев Д.В., Сангов Х.С.** Анализ установившихся режимов работы трёхфазного самовозбуждающегося асинхронного генератора ветроэнергетических установок // Промышленная энергетика. — 2019. — №5. — С. 52–60.

Х.Х. Пулодов студ.;
рук. М.Д. Додхудоев, к.т.н., доц. (ТТУ им. акад. М.С. Осими)

ПУТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ВАРЗОБСКИХ РАЙОННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Анализ схем Варзобских районных электрических сетей (РЭС) Республики Таджикистан показывает, что она не соответствует требованиям ПУЭ. РЭС начинается с шин ТП «Северная». Питающая линия РЭС выполнена габаритом 110 кВ, а её рабочим напряжением является 35 кВ. Продолжение этой линии имеет рабочее напряжение 110 кВ. Для этого на расстояние 26,5 км от подстанции «Северная» установлена повышающая ТП «Пугус». с трёхобмоточным трансформатором, от которой на напряжение 110 кВ питается ТП «Майхура» мощностью 6,3 МВ. А ($К_з$ = 0,12) и ТП «Южный портал» мощностью 2,5 МВ, А ($К_з$ = 0,008), а также близлежащие населённые пункты. Линия 110 кВ и трансформаторы работают почти на холостом ходу. При этом трансформатор ТП «Южный портал» не может быть заменен трансформатором меньшей мощности, так как на напряжение 110/6–10 кВ трансформаторы меньшей мощности не выпускаются.

Для оптимизации схем РЭС по всем показателям требуется:

а) напряжения начального участка линии РЭС от подстанции «Северная» до подстанции «Пугус» с напряжения 35 кВ перевести на напряжение 110 кВ, а участка линии 110 кВ от подстанции «Пугус» до «Майхура» и «Южный портал» перевести на напряжение 35 кВ;

б) на подстанции «Пугус» изменить схему соединения трансформатора к линиям, превращая её к понижающей подстанции;

в) на трёх ТП убрать по одному трансформатору, а оставшихся трансформаторов заменить трансформаторами меньшей мощности;

г) трансформаторы ТП «Варзоб» и «Кондара» с напряжения 35 кВ перевести на напряжения 110 кВ заменив трансформаторы в них, трансформаторами ТП «Майхура» и ТП «Южного портала». На ТП «Майхура» и «Южный портал», установить трансформаторы меньшей мощности напряжением 35/10 кВ.

Перевод схем от одного напряжения на другое и взаимная перестановка трансформаторов между ТП больших затрат не требует.

А. Лепесов, студ, рук. Н.Д. Таабалдиева, к.т.н., доц. (КГТУ им. И. Раззакова)

ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ОГРАНИЧЕННОЙ МОЩНОСТЬЮ НА ПРИМЕРЕ КЫРГЫЗСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

В последнее время часто затрагивается вопрос о том, в каком положении окажется наша энергосистема в случае ее изолированной работы (когда межсистемные линии связи будут отключены). На основе проведенного анализа электроэнергетическая система Кыргызстана, в случае выхода из Объединенной энергосистемы Средней Азии и Южного Казахстана, превращается в систему ограниченной мощности, что приводить к исследованию ЭЭС Кыргызстана как систему, работающую на шины ограниченной мощности.

Поэтому в данной работе энергосистема Кыргызской Республики рассматривается как система с ограниченной мощностью, и при анализе режимов ее работы, в частности, при расчете переходных процессов представляется возможным свести ее к двухмашинной системе, признаком которой следует изменение напряжение на шинах $U_ш$ при изменениях режимов работы такой системы. В системах же, обладающих достаточным аварийным резервом мощности (в традиционной интерпретации они получили название «системы бесконечной мощности»), всегда можно выделить шины с неизменным (постоянным) напряжением Uc=const. Поскольку в системах ограниченной мощности вообще отсутствуют шины с неизменным напряжением, поэтому вместо U_c вводится понятие $U_ш$ [1, 2].

Основанием для представления Кыргызской энергосистемы в виде двухмашинной системы ее работы, при аварийных режимах, послужило многолетний анализ развития переходных процессов. Так как все генерирующие станции Токтогульского каскада работают на Юг Республики, за исключением Токтогульской ГЭС, которая работает только на Север и так настроена автоматика управление режимом системы. Рассмотренные примеры развития аварий в работе показывают, что в работе остаются только две станции, это Токтогульская ГЭС и Бишкекская ТЭЦ, связанные шинами Uш 220 кВ на п/ст «Главная» (рис. 1)

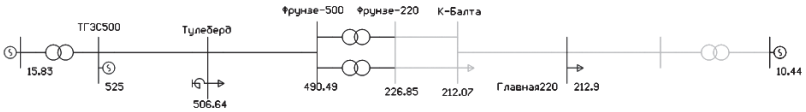


Рис. 1. Схема энергосистемы Кыргызской Энергосистемы с двумя эквивалентными генерирующими станциями

Литература

1. **Джунуев Т.** Исследование характеристик мощности генераторов в электроэнергетической системе ограниченной мощности. Сборник трудов шестой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, том 1, Электроэнергетика, Благовещенск, 2011. — 9 стр.
2. **Таабалдиева Н.Д.** Полная модель исследования переходных процессов электроэнергетических систем с ограниченной мощностью. Известия вузов №27, Бишкек, 2012, 6 стр.

A.Sh. Madjidov, asp. (NRU, MPEI)

EFFECT OF VOLTAGE FAILURE ON THE OPERATION OF AUXILIARY DEVICES

In case of short circuits, the rotational speed of induction motors (IM) of auxiliary means in the heat-and-power station (HPS) decreases, which can lead to the shutdown of the technological equipment of power plants and disconnection of generators from the electric network.

The aim of the research is to determine the effect of voltage dips appeared as a result of short circuits at different electrical distances on the possibility of self-starting of IM.

The study was carried out on the example of a 0.4 kV power supply for the auxiliary means of HPS No. 1 in the city of Dushanbe, Republic of Tajikistan.

Calculation of the run out and self-starting of the induction motor was carried out taking into account not only the voltage drops on the buses of the auxiliary devices of HPS, but also taking into account the change in the phase sequence of the EMF of the IM with respect to the network voltage [1]. When the EMF of the IM shifted by 180° with respect to the auxiliary mains voltage, when the voltage was recovered after the short circuit was eliminated, the IM draws a current, which exceeded its starting current by more than 2 times [2]. The change in the angle between the EMF vector of the IM and the network voltage vector up to 180° occurs in 0.3–0.5s, and the value of the residual voltage on the buses of the auxiliary means, at that time, was about 0.5–0.7 of its nominal values. The maximum value of the electromagnetic shock torque, exceeds in 1.5–2 times the torque during a short circuit performed at switching angles of 180°± (45°–75°). From this point of view, it is desirable to have a sufficiently long period of time before restoring the voltage to ensure a decrease in the residual voltage and acceptable value of the shock current and torque when the short circuit is eliminated. The voltage on the buses of the auxiliary devices almost completely attenuates in 2s [2].

Using ETAP program (OTI USA company), the maximum allowable duration and magnitude of voltage dips on the buses of the auxiliary devices caused by arc short circuits at different electrical distances were investigated and determined for the most important systems of auxiliary means, taking into account the on-hold characteristics of magnetic starters and contactors.

List of literature

1. **A.K. Chernovets**, Power stations: Publishing house of LPI. 2012, 149s;
2. **A.Sh. Majidov, Yu.P. Gusev.** Influence of voltage failures on the operation of asynchronous motors. Abstracts of the reports of the twenty-fourth international scientific and technical conference. 2018, Publisher: «RADUGA», MPEI Moscow
3. **Sivokobylenko V.F., Lebedev V.K.** Transients in auxiliary power supply systems. Publishing House — DonNTU, 2002. — 136 p.

Ш.Н. Набиев. студ.;рук. М.Д. Додхудоев, к.т.н., доц. к.т.н,
С.Р. Чоршанбиев (ТТУ им. акад. М.С. Осими)

СОСТАВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ТАРИФЫ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

Основу электроэнергетической системы Республики Таджикистан составляют гидравлические электрические станции (ГЭС), которые вырабатывают более 92% электроэнергии в осенне-зимний период, а все 100% в летный период. Исходя из этого, чем больше коэффициент загрузки и коэффициент включения агрегатов ГЭС, тем больше коэффициент использования их номинальной мощности, а соответственно эффективность использования всей электроэнергетической системы страны.

В летнее время из-за отсутствия нагрузки тепловые станции отключаются полностью, а агрегаты ГЭС частично. Система работает не эффективно. Тарифы на электроэнергии по настоянию МВФ каждый год растут без учёта интересов, как потребителей, так и производителей. При этом они составляются без учёта графиков потребления электроэнергии по месяцам и по часам суток, которые крайне не равномерны из-за того, что основной нагрузкой (более 80%) электроэнергетической системы составляют коммунально-бытовые потребители.

Для повышения эффективности электроэнергетической системы и уровень жизни населения страны предлагается:

- установить много ставочный прогрессивный тариф на электроэнергию, учитывающий стоимость электроэнергии по временам года и часам суток, что позволяет:
- использовать электроэнергию в часы минимума нагрузок в зимний период для целей отопления и горячего водоснабжения, а в летный период для систем кондиционирования воздуха, как в бытовом секторе, так и в общественном секторе;
- приводятся рекомендации по внедрению в быту и других секторах энергосберегающие отопительные установки.

Ш.Э. Кодиров студ.;
рук. М.Д. Додхудоев, к.т.н., доц. (ТТУ им. акад. М.С. Осими)

О ГЛУБОКОМ ВВОДЕ НАПРЯЖЕНИЯ 35 КВ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ В ВЫСОКОГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Электрические сети в высокогорных условиях имеют свои особенности, которые заключаются в прокладке различных классов напряжения в узких высокогорных ущельях. Порой напряжение 110–35–10 (6) кВ переплетаются между собой в противоположных направлениях по одной ущелье, увеличивая потери электрической энергии во всех элементах системы электроснабжения.

Для снижения потерь электроэнергии, удобства эксплуатации и снижение затрат на сооружение и эксплуатации электрических сетей в высокогорных условиях целесообразно сокращение количества трансформации, минуя напряжение 10 (6) кВ и переход на напряжение 35/0,4 кВ.

Расчёты и сравнение различных вариантов схем на примере схем электроснабжения Варзобского района Республики Таджикистан, показали:

- при переходе на глубокий ввод напряжением 35/0,4 кВ сокращаются 4 двухтрансформаторных подстанций напряжением 35/10 кВ, которых необходимо установить при использовании напряжении 35/10/0,4 кВ:
- отсутствие необходимости в трехобмоточных трансформаторах напряжением 110/35/10 кВ;
- капитальные затраты на схему глубокого ввода напряжением 35/0,4 кВ уменьшаются в 1,95–2,8 раза по сравнению со схемой напряжением 35/10/0,4 кВ;
- потери электроэнергии сокращаются в 1,7 раза, а эксплуатационные расходы в целом в 2,6 раза.
- опыт эксплуатации таких сетей в Дарвазском районе страны, проектируемой учениками руководителя этой работы, показали отличные результаты.

Ш.О. Содиков, магистр, рук Б.С. Джамолзода, к.т.н.
ст. преп. (ТТУ имени ак. М.С. Осими)

АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ГОРОДСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ Г. ДУШАНБЕ

В связи с развитием страны и в том числе г. Душанбе, постоянно увеличивается объемы потребляемой энергии. Соответственно увеличивается уровень потерь электроэнергии в распределительных сетях.

Удовлетворительной считается величина потерь электроэнергии на уровне 4–5%, максимально допустимые потери должна составит на уровне 10% [1].

Но согласно [2–3] фактическая величина потерь электроэнергии в распределительных сетях Республики Таджикистан, и в том числе в распределительных сетях г. Душанбе в настоящее время составляет около 12–15%, что существенно превышает даже максимально допустимые значение.

Исходя из этого, в данной работе проводится анализ потерь электроэнергии в городских распределительных сетей г. Душанбе.

Для проведения анализа, сперва были получены информация о состояние потерь электроэнергии в городских распределительных сетях г. Душанбе. На основе полученных информации были смоделированы фрагмент городских распределительных сетей г. Душанбе в программном комплексе РАП-10-ст. [4]. После моделирование были рассчитаны потерь электроэнергии в городских электрических сетях г. Душанбе. методом средних нагрузок. По результатов расчетов были анализированы потерь электроэнергии. Выявлены основные причины высокого уровня потерь электроэнергии в распределительных сетях: неоптимальными режимами работы распределительных сетей, неэффективностью систем учета электроэнергии, отсутствием нормативно-правовых актов, и программ направленных на снижение потерь электроэнергии в распределительных сетях, а также трансформаторные подстанций городских распределительных сетей работают на холостом ходу.

Литература

1. **Бохмат И. С**, Воротницкий В.Э., Татаринов Е.П. Снижение коммерческих потерь в электроэнергетических системах.-Электрические станции, 1998,№9.
2. **Чоршанбиев С.Р.** Повышение эффективности функционирования электрических сетей с распределенной солнечной генерацией за счет снижения технических потерь электроэнергии (на примере Республики Таджикистан): дис. … канд. техн. наук. Москва: Из-во МЭИ, 2019.
3. Информация за 2018 года Энергетическая компания (ОАХК) «Барки Точик». [Электронный ресурс] http://www.barqitojik.tj (Дата обращения 18.09.2019 г.).
4. Руководство пользователя программа расчета и анализа потерь электроэнергии в основных сетях 110–750 кВ РАП-ОС-ст (версия 21–267). Железко Ю. С, Артемьев А.В. 2006 г. — 30. с.

О.Х. Саидов, студ.; рук. Ф.О. Исмоилов, к.т.н., и.о. доц, С.Х. Саидович, к.т.н., С.Р. Чоршанбиев, к.т.н., (ТТУ им. акад. М.С. Осими)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

В сельских местностях Республики Таджикистан проживает около 74% население страны [1]. Население страны на сегодня составляет примерно 9 млн. человек и имеет положительную динамику прироста. С увеличением числа сельских жителей также должно развиваться сельское хозяйство, которое зависит от многих факторов. Одними из главных факторов считаются обеспечение благоприятных и комфортных условий быта сельского жителя. Анализируя уклад жизни сельского жителя Таджикистана можно сделать вывод, что наиболее важной задачей при обеспечении благоприятных и комфортных условий является обеспечения горячей водой.

В отличие от сельских жителей других стран в Таджикистане сельские местности не имеют системы горячего водоснабжения, а задача приготовления горячей воды решается в основном путем использования органического топливо (дрова, уголь, газ) и электрической энергии. Однако по определенным причинам в стране происходит постоянный рост цен как на органическое топливо (дрова, уголь, газ) так и на электрическую энергию. Кроме того, сельские распределительные электрические сети низкого напряжения и высокого напряжения до 10 кВ сформированные во второй половине прошлого столетия являются перегруженными. Использование таких сетей с целью обеспечение горячего водоснабжения на сегодняшний день не представляется возможным.

Однако, если учитывать огромного потенциала солнечной энергии Республики Таджикистана, большого числа солнечных дней в году, ряда существующих проблем указанные выше, опираясь на мировой опыт, можно принят, что продуктивным методом эффективного горячего водоснабжения сельских потребителей является круглогодичное использование солнечной энергии в селах страны.

В данной работе исследуются как технические, так и экономические стороны поставленной задачи с учетом существующих и перспективных условий сельской местности и страны в целом.

Литература

1. **Исмоилов Ф.О.** Комплексное использование источников возобновляемой энергии в условиях Таджикистана // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2017. Т. 1. №1 (37). С. 17–28.

Ж. Жээналиева, студ, Б. Аскаров, студ, рук. Т.Т. Джунуев, к.т.н., доц. (КГТУ им. И. Раззакова)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КЫРГЫЗСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Обеспечение статической устойчивости энергосистемы является основным требованием при их проектировании и эксплуатации, и должна обеспечиваться всегда в нормальном и послеаварийном режиме.

Одной из основных проблем Кыргызской энергосистемы является отсутствие резервного питания, т.е. с отсутствием генерирующих мощностей рост потребителей делают проблему обеспечения устойчивости наиболее острой. Потому что при нарушении устойчивости параллельной работы генераторов ЭЭС КР может привести к нарушению электроснабжения большого числа потребителей электроэнергии и даже к полному развалу энергосистемы на Юг и Север.

В качестве примера рассмотрено статическая устойчивость станций Юга Кыргызстана (нижние станции каскада Нарынских ГЭС), это Курпсайская (800 МВт), Ташкумырская (450 МВт), Шамалдысайская (240 МВт) и Камбаратинская ГЭС-2 (120 МВт). Расчеты выполнялись для максимальных часов нагрузки характерных летних и зимних суток.

Утяжеление режима выполнялось за счет увеличения генерации станций при увеличении нагрузки на Юге Республики.

Контроль выдачи мощности станциями нижнего каскада, установленной мощностью 1610 МВт осуществляется по сечению:

— Л — Кристалл — Сардор; — Л — Кристалл — Кызыл-Рават; — Л — Кристалл — Датка (две цепи); — Л — Курпсайская ГЭС — Датка; — Л — Кристалл — Юлдуз.

По условию предотвращения токовой загрузки элементов схемы допустимый переток в рассматриваемом сечении принимается равным 1400 МВт.

Уровень напряжений в узле нагрузки на шинах 220кВ по критерию $\frac{dQ}{dU} < 0$. При этом схема замещения содержит два эквивалентных генератора (Ташкумырская и Шамалдысайская ГЭС), работающих через ЛЭП на узел нагрузки.

Проведенные расчеты показывают, что запас устойчивости по напряжению в узловой точке при утяжелении режима соблюдается. При этом разница в значениях $U_{кр}$ по различным критериям устойчивости составляет около 1%.

Литература

1. **Жданов П.С.** Устойчивость электрических систем. — М.-Л.: ГЭИ, 1948. — 400 с., ил.
2. Расчет статической устойчивости систем ограниченной мощности по методу центра инерции. Сборник трудов седьмой всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Благовещенск, 2013.

Направление

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Директор ИГВИЭ, к.т.н., доцент Т.А.Шестопалова

Секция 60.
ГИДРОЭНЕРГЕТИКА И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Председатель секции — Шестопалова Татьяна Александровна
Секретарь секции — Кунакин Дмитрий Николаевич

Г.И. Щербинин, студ.; рук. Г.В. Дерюгина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОБОСНОВАНИЕ СЕТЕВОЙ ВЭС В САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

Анализ топливно-энергетического комплекса Самарской области. В работе рассматривается дополнение в существующую энергосистему Самарской области крупной ветроэлектростанцией (ВЭС).

Выбор перспективных площадок под строительство ветроэлектрических станций (ВЭС) начинается с оценки ветровых ресурсов в регионе. Расчет ветроэнергетического потенциала Самарской области проводился по многолетним данным (с 2008 г. по 2018 г.) 15-и наземных метеостанций (МС) на высоте 10 метров над поверхностью земли с сайта «Расписание погоды» [1].

Предварительная площадка под размещение ВЭС была намечена по ветровой активности, транспортной доступности и возможности подключения к единой энергосистеме. Для выбранной площадки ВЭС был выполнен полный расчет ветроэнергетического кадастра. Анализ существующей электрической схемы «Самарская Энергосистема» выявил, что возможно подключение ВЭС к энергосистеме Самарской области.

Оценка энергетических показателей ВЭС (годовой выработки, коэффициента использования удельной мощности и удельной энергии с единицы ометаемой площади) производилась по данным расчетного 2011 г. Выбор вариантов ВЭУ проводился в соответствии с ГОСТ Р54418.1. Пересчет скорости ветра на высоту оси ВК выполнялся по степенной зависимости вертикального профиля: $V_{\text{ВЭС}}^{hl} = V_{\text{ВЭС}}^{10l} \left(\frac{h}{10}\right)^{ml}$, где l номер месяца» [2].

Окончательный выбор варианта ВЭУ должен производиться на основе технико-экономического обоснования, но в данной работе он производился по критерию энергоэффективности — максимальное значение коэффициента использования установленной мощности ВЭУ. В соответствии с данным критерием из 10-и вариантов ВЭУ наиболее энергоэффективной установкой оказалась модель Dewind D8.2 (США). Была принята схема размещения 11-и ВЭУ в шахматном порядке.

Литература

1. Сайт «Расписание погоды»// [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://rp5. ru
2. **А.Г. Васьков, Г.В. Дерюгина, Н.К. Малинин, Р.В. Пугачев.** Ветроэнергетика // Учебное пособие, Издательство МЭИ 2016.

А.С. Иванова, студ.; Г.В. Дерюгина, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА СЕТЕВОЙ ВЭС В ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В работе рассматривается дополнение топливно-энергетического комплекса Волгоградской области крупной ветроэлектростанцией (ВЭС) мощностью 30 МВт, строительство которой планируется в соответствии постановлением Правительства РФ от 28 мая 2013 года №449 «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности» и для улучшения экологической ситуации в регионе.

Для выбора перспективных площадок под размещение ВЭС предварительно были построены карты распределения удельной мощности и среднемноголетней скорости ветра на высоте 10 м по территории Волгоградской области. Построение карт проводились по данным наблюдений 16-ти метеостанций с сайта «Расписание погоды» (rp5. ru), приведение данных к условиям открытой местности проводилось с учетом фактических классов открытости МС по 8-и румбам и БД «Флюгер». Окончательно была выбрана площадка ВЭС на левом побережье Цимлянского водохранилища западнее поселка Крепинский (координаты — 48,24° с. ш., 43,32° в. д.).

Выбор энергоэффективной модели ВЭУ производился по критериям максимальных значений коэффициента использования установленной мощности ВЭУ Киум и показателя удельной энергии с единицы ометаемой площади Эуд из 14-ти предварительно отобранных вариантов в соответствии с ГОСТ Р 51991–2002 и ГОСТ Р 54435–2011. В результате расчетов были отобраны наиболее энергоэффективные варианты ВЭУ среди вариантов ВЭУ с одинаковой высотой башен: модель Made G97 ($Н_б$=120 м; $К_{иум}$=0,55; $Э_{уд}$=1295 кВт·ч/м^2), модель Enercon E82/2000 ($Н_б$=108 м; $К_{иум}$=0,45; $Э_{уд}$=1510 кВт·ч/м^2), модель Vestas V90/1800 ($Н_б$=105 м; $К_{иум}$=0,45; $Э_{уд}$=1125 кВт·ч/м^2) [1]. Годовая выработка ВЭС для варианта ВЭС, состоящей из 15-ти ВЭУ модели Made G97, составила 133620,7 МВт·ч, что примерно 1% от вырабатываемой электроэнергии в области.

Литература

1. **А.Г. Васьков, Г.В. Дерюгина, Н.К. Малинин, Р.В. Пугачев.** Ветроэнергетика // Учебное пособие, Издательство МЭИ 2016.

В.Д. Метт, студ.; рук. Г.В. Дерюгина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

УЧЕБНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КАДАСТР»

В настоящее время в мире активно развивается ветроэнергетика. Одной из проблем ветроэнергетики является необходимость обработки большого количества статистических данных. В данной работе ставилась задача разработки программного комплекса, способного выполнять ветроэнергетические расчеты на основе открытых источников данных. Программы-аналоги в большинстве случаев распространяются под проприетарной лицензией и не подходят для учебных целей. Таким образом возникает необходимость разработки учебного программного комплекса «Ветроэнергетический кадастр», который планируется использовать в учебном процессе и на ранних стадиях проектирования.

Данные для расчетов берутся с сайта «Расписание Погоды» [2] и из СБД «NASA» [1]. Кроме онлайн источников реализована поддержка импорта данных из текстовых файлов.

Основные функции программного комплекса:

- фильтрация ошибочных измерений на основе СБД «Максимальные скорости ветра»;
- моделирование рядов наблюдений до заданного интервала. При моделировании возможен выбор алгоритма: линейная интерполяция и ступенчатое моделирование;
- восстановление методом корреляционного предсказания на основе рядов наблюдения за тот же период на соседней метеостанции;
- расчет ветроэнергетического кадастра. При расчете энергетических характеристик плотность воздуха принимается равной константе или рассчитывается на основе средней температуры и высоты над уровнем моря;
- выбор расчетного года производится на основе многолетнего ряда наблюдений. При этом выбирается год с полнотой ряда не менее 95% и минимальным отклонением среднегодовой скорости ветра от среднемноголетней.

Литература

1. Сайт «The NASA Surface Meteorology and Solar Energy Data Set» [Электронныйресурс]. — Режимдоступа: https://power.larc.nasa.gov
2. Сайт «Расписание погоды» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https:// www.rp5.ru

Е.И. Полуляхов, студент; рук. Г.В. Дерюгина ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ВИЭ АВТОНОМНОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ В ГОРОДЕ СОЧИ

Масса современных дачных и коттеджных домов получает электрическую энергию от объединенной электрической сети. Однако, также, большое количество загородных домов не имеет возможности подключения к этой системе. Одним из решений этой проблемы может стать система электроснабжения автономного потребителя, включающая генерирующие установки на базе возобновляемых источников энергии.

Объект исследования в данной работе — двухэтажный загородный дом, общей площадью 192 м^2, предназначенный для постоянного проживания 2-ух взрослых человек в селе Пластунка, рядом с г. Сочи.

Были рассчитаны графики среднечасовых нагрузок для двух характерных суток и выявлено, что максимальная потребляемая мощность — 3,5 кВт, минимальная — 0,7 кВт.

При рассмотрении целесообразности использования энергии ветра по данным метеостанции «Раздольная», (расстояние 15 км от потребителя) с сайта «Расписание погоды», было выявлено, что её использование в данном районе не эффективно, поскольку коэффициент использования установленной мощности для ВЭУ с максимальной высотой башни 50 м. не превышает 0,08. В качестве основных энергоустановок на базе ВИЭ были приняты солнечные фотоэлектрические модули (СФЭМ). Было рассмотрено две компоновки системы электроснабжения автономного потребителя: СФЭМ+ДЭУ (дизель-электрическая установка) и СФЭМ+ ДЭУ +АКБ (аккумуляторные батареи).

Из-за асинхронности графиков прихода солнечной радиации и потребляемой мощности, было выявлено, что компоновка СФЭМ+ДЭУ (солнечные фотоэлектрические модули марки AXITEC 300П (Германия) и ДЭУ — (GenPower GDG 400 E AS) неэффективна — доля замещения ДЭУ по электроэнергии составляет 22,3%. Для повышения эффективности было рассмотрено добавление АКБ (Delta GX 12–100- Китай) и выявлен оптимальный состав электроснабжения (количество и состав разрабатываемой системы электроснабжения. Что привело к повышению замещения электроэнергии ДЭУ до 47,9%. Окончательное решение по составу системы электроснабжения может быть принято на основе экономического обоснования.

Тет Мьят Тун, студ.; рук. Г.В. Дерюгина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРСПЕКТИВЫ ОФФШОРНОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ НА ЗАПАДНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ МЬЯНМЫ

Поскольку рентабельными считают морские ВЭС, удаленные от берега не далее 50 км и не ближе 1–1,5 км и на глубине моря не более 50 метров, то предварительно был проведен мониторинг морских территорий западного побережья Мьянмы. Также западное побережье было выбрано с точки зрения возможности подключения морских ВЭС к существующим ПС. Протяженность береговой линии прилегающих морских акваторий составляет около 2224 км, а рассчитанная доступная площадь для размещения морских ВЭС — 80400,9 км^2 (на рисунке 1 выделена красной заливкой). Оценка ветроэнергетического потенциала морских акваторий западного побережья Мьянмы на высотах 10 м и 100 м проводилась по многолетним данным (с 1995 г. по 2017 г.) в 43-х точках на высоте 10 м от поверхности земли из банка «Blended Coastal Wind» программы «Windpro». Моделирование (пересчет) скорости ветра на высоту 100 м проводился по степенной зависимости вертикального профиля ветра, показатель степени принимался в соответствии с IEC 61400–3 для морских территорий — «0,14» [1].

Рис. 1. Территория расположения морских ВЭС в Андаманском море

Анализ среднемноголетних энергетических характеристики ветра в условиях 43-х точек морских акваторий западного побережья Мьянмы выявил, что на выбранной территории они меняются не значительно: среднемноголетние скорости ветра от 4,85 м/с до 6,79 м/с; удельные мощности ветрового потока от 161,91 Вт/м^2 до 283,06 Вт/м^2. В результате проведенных расчетов было получено, что теоретический ветропотенциал западного побережья Мьянмы на разных высотах составляет: на 10 м — 8064,82 ТВт×ч в год; на 100 м — 21212,63 ТВт×ч в год.

Литература

1. **А.Г. Васьков, Г.В. Дерюгина, Н.К. Малинин и Р.В. Пугачев**, Ветроэнергетика, Москва: МЭИ, 2016.

Р.П. Шевердиев, студ.; рук. М.Г. Тягунов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К НАКОПИТЕЛЯМ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ВИЭ

Одним из способов повышения энергетической эффективности систем децентрализованного энергоснабжения является внедрение гибридных комплексов гарантированного энергоснабжения (далее — ГЭК) с использованием возобновляемых источников энергии (далее — ВИЭ) [1].

Известно, что мощность, генерируемая установками ВИЭ крайне изменчива во времени. Непостоянство во времени таких источников энергии как солнце, ветер приводит к тому, что гарантирующая мощность установок на их основе равна нулю за исключением некоторых редких случаев. В такой ситуации важным элементом в ГЭК, обеспечивающим его надежность, является системы электро- и тепло-аккумулирования.

Таким образом, задача состоит в определении свойств и особенностей функционирования установок ВИЭ в составе ГЭК и требований, предъявляемых к накопительным системам по объемам запасаемой энергии, режимам приема и отдачи мощности на продолжительных (год, месяцы), средних (сутки, часы) и коротких интервалах времени (минуты, секунды). Для определения этих требований проведен анализ рабочих режимов ГЭК на примере данных реального потребителя, расположенного на острове Попова.

На основе проведенных расчетов и анализа режимов работы ГЭК с ВИЭ было установлено, что для удовлетворения требованиям ГЭК необходимо применение в его составе гибридного накопителя энергии, в которой сочетаются различные источники электрической энергии, одни из которых, ввиду их высокой энергоемкости (водородные накопители электроэнергии), можно рассматривать как источники энергии для сезонного и суточного регулирования, а другие (суперконденсаторы), как источники мощности, в режимах приема и отдачи импульсов мощности на секундных интервалах времени.

Полученные результаты важны для разработки эффективных систем накопления энергии ГЭК, функционирующих на основе ВИЭ, обеспечивающих повышение их надежности и технико-экономической эффективности.

Литература

1. **Шевердиев Р.П., Тягунов М.Г.** Гибридный энергокомплекс гарантированного энергоснабжения с водородным аккумулированием энергии // Энергетика. Технологии будущего: II науч.-техн. конф. студентов М.: Издательство МЭИ, 2019. С. 19.

Е.А. Гадалова, студ.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ГЕЛИОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В современном мире традиционные источники энергии активно вытесняются возобновляемыми. Наиболее востребованным является солнечное излучение, которое все чаще используют для теплоснабжения зданий (отопления и горячего водоснабжения) [1].

На основе оценки располагаемого количества инсоляции для Ивановской области выполнен тепловой расчет систем гелиотермального теплоснабжения. Для покрытия нагрузки на отопление, рассчитанной балансовым методом, оказалось, что использование солнечной энергии для отопления стандартного частного жилого дома технически невыполнимо, т.к. требуемая площадь коллекторов превышает площадь кровли [2].

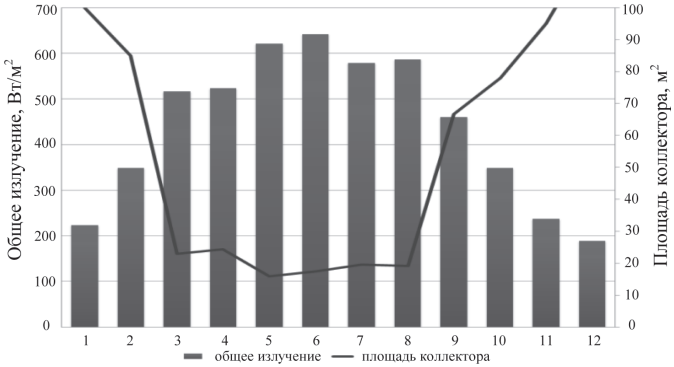


Рис. 1. Зависимость площади коллектора от плотности потока суммарного солнечного излучения в 57˚с. ш. для обеспечения нужд ГВС.

Анализ графика (рис. 1) показывает, что в зимние месяцы солнечная энергия не может обеспечить необходимое количество тепловой мощности для нужд ГВС. Однако, для этих целей можно использовать сезонные установки подогрева воды, работающие с марта по сентябрь.

Таким образом, в климатических условиях Ивановской области установки солнечного теплоснабжения не позволяют в полном объеме удовлетворить потребность в тепловой энергии индивидуальных жилых зданий стандартной планировки.

Литература

1. **Даффи Дж., Бекман У.** Основы солнечной теплоэнергетики — Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2013.–888 с.
2. ВСН 52–86 «Установки солнечного горячего водоснабжения», Москва,1988.

М.А. Никитин, студ.; рук. А.К. Лямасов, к.т.н., ст. преп., (НИУ «МЭИ»)

СПОСОБ ГЕРМЕТИЧНОГО УПЛОТНЕНИЯ ВАЛА

Предотвращение или уменьшение взаимодействия с окружающей средой в зоне вращающегося вала является одной из самых важных и актуальных задач при разработке большинства роторных машин: компрессоров, турбин, насосов и др. С этой целью используются различные уплотнения: щелевые, лабиринтные, манжетные, сальниковые, торцевые (одинарные и двойные), гидродинамические.

Известны также различные способы уплотнения вала, которые обеспечивают полную герметичность машин по отношению к окружающей среде. К условно герметичным относят двойное торцевое уплотнение с подводом в камеру торцевого уплотнения уплотнительной жидкости под давлением. К полностью герметичным относят машины с магнитной муфтой и с экранированными двигателями или генераторами.

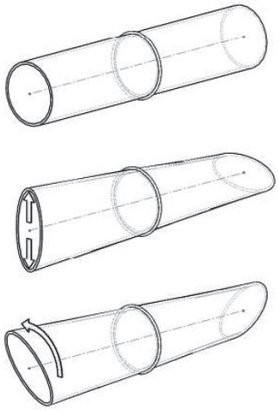


Рис. 1. Деформация тонкостенного цилиндра

Все рассмотренные способы предполагают наличие движущихся элементов, в которых возникают потери за счет трения, электродинамики или утечки рабочей жидкости. Предлагается рассмотреть альтернативное решение по передаче крутящего момента, которое позволяет обеспечить абсолютную герметичность за счет замены уплотнения подвижного вала на уплотнение по неподвижной поверхности.

Известно, что при деформации тонкостенного цилиндра с кольцевой опорой в центре на одном из его краев наблюдается аналогичное изменение формы на его другом конце, повернутое на 90 градусов относительно продольной плоскости цилиндра (Рис. 1). Если в дальнейшем менять угловое положение деформированного состояния одного из краев, аналогичное изменение будет происходить на другом конце цилиндра. При этом центральная часть с кольцевой опорой, куда можно встроить уплотнение, остается неподвижной. Это позволяет осуществить новый способ герметизации ротора.

М.А. Бирюлин, студ.; рук. А.К. Лямасов, к.т.н., ст. преп., (НИУ «МЭИ»)

ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ НАСОС С ДИНАМИЧЕСКИМ УПЛОТНЕНИЕМ ВАЛА

Известны различные уплотнительные системы валов центробежных насосов. В ряде случаев целесообразным является использование динамических уплотнений. Технология имеет широкое применение в целлюлозно-бумажной промышленности, поскольку эффективна при перекачивании насосами жидкостей с включениями.

На сегодняшний день под динамическим уплотнением понимается вспомогательное рабочее колесо (или несколько колес), которое устанавливается на валу насоса за основным рабочим колесом и за счет развиваемого давления создает сопротивление утечке рабочей жидкости. Камера динамического уплотнения соединяется с линией всасывания насоса, в результате чего осуществляется залив и устанавливается давление, равное давлению на входе в насос.

Динамическое уплотнение выполняет свои функции только при работе всего насоса. В остановленном состоянии необходимы дополнительные уплотнения — стояночные.

В России отсутствуют методики проектирования рабочих колес динамических уплотнений, в связи с чем является актуальной задача исследования рабочего процесса и поиска эффективных технических решений.

Принцип работы динамического уплотнения предполагает потребление дополнительной энергии. При этом стоит отметить, что в стадии равновесия перекачивается малое количество рабочей жидкости, в связи с чем потери являются незначительными.

В качестве возможной альтернативы динамическому уплотнению с рабочим колесом предлагается также рассмотреть применение струйного насоса. За счет подвода жидкости от нагнетательной линии можно обеспечить эффективное отсасывание утечек из камеры. Существенным преимуществом подобного динамического уплотнения является отсутствие вращающихся частей, что значительно повышает ресурс работы узла, который в традиционном понимании считается быстроизнашивающимся.

И.Н. Ермаков, студ., рук. Б.М. Орахелашвили, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

БЕСПЛОТИННАЯ ГЭС С ГИДРОТУРБИНОЙ, РАЗМЕЩЕННОЙ ВНУТРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КОЛОННЫ

До настоящего времени энергоснабжение удаленных районах остается сложной технической проблемой. Строительство ЛЭП для обеспечения энергией таких районов является неоправданно дорогостоящим. Поэтому выходом может быть локальная генерация на базе местных источников электроэнергии. Распространенные способы генерации электроэнергии, предполагающие сжигание органического топлива, имеют отрицательное воздействие на окружающую среду и очень высокую стоимость производимой энергии. Строительство плотин для создания ГЭС может привести к затоплению целых районов и нарушению биологического равновесия, что является недопустимым. В работе разрабатывается принцип создания малой ГЭС без строительства классической плотины. Такая компоновка МГЭС не препятствует миграции рыб и не подвержена воздействию паводков и ледоходов

В качестве первого варианта была рассмотрена колонна в виде профиля Жуковского. Предварительные расчеты показали, что при скорости течения воды 3 м/с на размещенной в русле реки гидродинамической колонне создается перепад давления больше 3 метров. Этого достаточно для установки внутри этой колонны гидротурбинного агрегата с установленной мощностью 20 кВт.

Для более детального и реалистического изучения создана математическая модель колонны в системе моделирования ANSYS и проведено виртуальное исследование обтекания.

Проведена оценка оптимальных размеров русла реки по отношению к толщине гидродинамической колонны с целью проведения физического эксперимента на гидравлическом лотке кафедры ГГМ. В результате будут получены динамические характеристики потока, которые можно сопоставить с результатами математического моделирования в САПР пакетах, использующих метод конечных элементов.

Создана методика оперативной обработки и структуризации экспериментальных данных. В ней предусмотрено определение поля скоростей в трех характерных сечениях канала. На гидродинамической колонне практического профиля организуются 7 точек отбора давления — 4 на выпуклой и 3 на вогнутой стороне.

Математическая обработка экспериментальных данных даст возможность сопоставить их с результатами математического моделирования и скорректировать математическую модель установки.

Г.А. Кромм, студ.; рук. Б.М. Орахелашвили, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МАЛАЯ ГЭС НА БАЗЕ ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНЫ

Развитие малых ГЭС является в настоящее время перспективным направлением при использовании возобновляемых источников энергии. Возведение МГЭС требует незначительных затрат при высокой эффективности проектов. Необходимо отметить, что для некоторых регионов это является единственным устойчивым и экономичным источником энергии.

В работе проводится разработка модульного гидроагрегата с прямоточной осевой гидротурбиной (ГТ) и генератором на постоянных магнитах с целью его применения на МГЭС различных компоновок. Предварительная оценка показала, что для получения мощности турбины 20 кВт при напоре 3 м диаметр рабочего колеса не превышает 0,5 м. Такой гидроагрегат имеет рабочее колесо осевого типа с неповоротными лопастями и жёсткий направляющий аппарат. Может быть реализована безвальная компоновка со встроенным генератором по типу «STRAFLO», а также традиционная конструкция с вынесенным генератором, который соединён с гидротурбиной через трансмиссию, вариатор, напрямую через вал или через гидрообъёмную встроенную передачу. Подобная универсальность позволяет применять агрегат на разных МГЭС: подвесных, плавучих, в гидродинамической колонне и т.д., устанавливаемых в руслах рек или на отводных каналах.

Проектирование рабочих органов гидротурбины выполнено с помощью программного комплекса «ANSYS» по методу конечных элементов. Для проведения расчетов данных в программном комплексе CAE «SolidWorks» созданы модели различных вариантов рабочего колеса и цилиндрического направляющего аппарата. Выполнен ряд виртуальных экспериментов 3D-течения в направляющих аппаратах с различным числом цилиндрических лопаток переменного профиля. Расчетная величина циркуляции потока на выходе была получена при 13 лопатках при относительной величине потерь 2,5%. Последующие расчеты показали, что при применении лопаток с постоянной хордой их число может быть снижено до 9 при сохранении требований по создаваемой циркуляции и некотором снижении потерь в направляющем аппарате.

На следующем этапе будет проведен расчет совместной работы цилиндрического направляющего аппарата и лопастной системы рабочего колеса, для которой созданы соответствующие 3D-модели. Результаты расчетов позволят оптимизировать геометрия проточного тракта и лопастных систем гидротурбины для обеспечения заданных параметров работы.

А.Р. Кудрявцев, студ.; рук. Г.В. Дерюгина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОСНОВНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРА НА ТЕРРИТОРИИ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРУПНОЙ ВЭС

На данный момент энергетика Мурманской области характеризуется лишь использованием энергии воды за счет 17-ти ГЭС и атомной энергии за счет 1-ой АЭС, также имеется 5-ть тепло электроцентралей (ТЭЦ). Все электростанции выдают электроэнергию в общую сеть — КОЛЭНЕРГО, которая обслуживает почти 100% населения данной области, но покрывает всего 50% территории. Также Мурманская область имеет большой потенциал в другом виде ВИЭ — ветровой.

В работе рассматривается выбор площадки под размещение крупной сетевой ветроэлектростанции (ВЭС). Ее выбор производится с учетом ветровой активности, транспортной доступности, возможности подключения к системе (расстояние до ЛЭП, пропускная способность ЛЭП), отсутствия экологических ограничений. Область находится на полуострове, имеет большие не задействованные территории, в том числе на побережье. Также по территории области наблюдаются высокие средние показатели скорости ветра, что было выявлено при расчете основных энергетических характеристик ветра по данным 29-и наземных метеостанций (МС) с сайта «Расписание Погоды» [1]. С учетом ветровой активности и других факторов была выбрана площадка, расположенная на расстоянии 2 км от МС Святой Нос, где на высоте 10 м: среднемноголетняя скорость ветра — 6,8 м/с; удельная мощность — 387,3 Вт/м^2 и коэффициент вариации — 0,52. Для оценки выработки проектируемой ВЭС была доказана применимость теоретического распределения Вейбулла и определены его параметры. Для пересчета скорости ветра на высоту башни предполагаемых ветроэлектрических установок (ВЭУ) (от 80 м до 120 м) была разработана формула определения среднемесячного показателя степени mo от скорости ветра на высоте 10 м $\overline{V}_0$, степенной зависимости вертикального профиля ветра: $m_0(\overline{V}_0) = 0{,}5712 \cdot \overline{V}_0^{-0{,}678}$ по данным аэрологической станции — Кандалакша.

Площадь площадки ВЭС составляет около 25 км^2, что позволяет разместить на ней ВЭС мощностью от 50 до 200 МВт. Планируется подключение проектируемой ВЭС к существующей ЛЭП напряжением 150 кВ, удаленной от площадки на расстоянии от 20 км до 30 км.

Литература

1. Российский метеорологический сайт «Расписания погоды» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: https://rp5. ru

Е.Е. Корытченкова, студ.; А.В. Коваленко, асп.;
рук. С.Н. Ткаченко, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ МИКРОГРИД С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ И НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ

В настоящее время в мире активно развивается концепция интеллектуальных электроэнергетических систем (ЭЭС) или Smart grid [1], подразумевающая широкое внедрение возобновляемых источников энергии (ВИЭ), микрогрид-систем, накопителей энергии (НЭ), цифровых принципов управления и защиты, и др. Данная работа посвящена вопросам устройства, функционирования и математического моделирования интеллектуальной системы микрогрид с ВИЭ и водородными топливными элементами (ВТЭ) в качестве НЭ. Для выполнения необходимых исследований была разработана и усовершенствована математическая модель микрогрид в среде Simulink программного комплекса MathWorks® MATLAB™, которая позволила проанализировать её режимы работы, а также оценить её способность обеспечивать бесперебойное питание ответственных потребителей.

Особенностью микрогрид является возможность работать как автономно, так и будучи подключенной параллельно к ЭЭС. Ввиду стохастического характера генерации энергии большая доля ВИЭ в энергосистеме создает определённые трудности. Чтобы стабилизировать работу такой системы и сделать возможным более эффективную интеграцию ВИЭ, целесообразно включить в неё НЭ, которые смогут поддерживать баланс мощностей, частоту и снизить потери при передаче энергии. Стоит отметить, что накопителями служат не сами ВТЭ, а водород, производимый при наличии избыточной электроэнергии от ВИЭ. Это реализуется благодаря цифровой системе управления или виртуальной станции микрогрид, которая в режимах избытка электроэнергии запускает систему производства водорода, пополняя его запасы.

Литература

1. **Стычинский З.А.** Возобновляемые источники энергии: теоретические основы, технологии, технические характеристики, экономика / Magdeburg: Издательство Магдебургского университета имени Отто-фон-Герике Docupoint GmbH, 2010–209 с.
2. **Ткаченко С.Н., Коваленко А.В., Корытченкова Е.Е.** К вопросу моделирования режимов работы микрогрид-систем с возобновляемыми источниками энергии и водородными топливными элементами // Инновационные перспективы Донбасса: Тр. V Международной научно-практической конференции. — г. Донецк, ДонНТУ, 2019. — С. 176–200;

И.В. Антонов, студ.; рук. Г.В. Дерюгина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОСНОВНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРА НА ТЕРРИТОРИИ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Ростовская область располагает богатыми ветроэнергетическими и солнечными ресурсами. В данном регионе в соответствии с Постановлением N 449 от 28 мая 2013 г. планируется до 2024 г. строительство крупных сетевых ветроэлектрических станций (ВЭС) суммарной мощностью около 400 МВт. Выбор площадки под размещение ВЭС производится в соответствии с СТО РусГидро 03.01.102–2013 и ГОСТ Р 54418.1–2012 по следующим критериям: интенсивности ветра, возможности технического присоединения к существующим ЛЭП, транспортной доступности, отсутствия заповедников и охраняемых зон, данные о рельефе площадки и примыкающей местности, геологическое строение [1].

Для оценки интенсивности ветра в данном регионе были рассчитаны основные многолетние характеристики ветра по данным 15-и наземных метеостанций (МС) на высоте 10 м с сайта «Расписание погоды» [2]. Выявлено, что на территории среднемноголетние скорости ветра меняются от 2,7 м/с до 4,3 м/с; коэффициенты вариации составляют от 0,5 до 0,7.

По совокупности выше перечисленных критериев была выбрана площадка ВЭС недалеко от г. Гигант. Энергетические характеристики ветра на площадке ВЭС оценивались по данным МС Гигант, удаленной от выбранной площадки на 2÷3 км: среднегодовые скорости ветра составляют от 2,9 до 3,7 м/с; среднемноголетняя скорость ветра 3,2 м/с, максимальная скорость ветра 19 м/с; удельная мощность 58,2 Вт/м^2 и коэффициент вариации 0,62. Рядом с выбранной площадкой отсутствуют заповедники и аэродромы, нет других экологических ограничений.

Площадь под размещение ВЭС составляет около 17 км^2, т.е. на ней возможно разместить ВЭС мощностью до 80 МВт. Она расположена на расстоянии около 2,5 км от существующих ЛЭП напряжением 110 кВ и имеется возможность технического присоединения проектируемой ВЭС к уже существующей подстанции «Трубецкая». Завоз оборудования предполагается по существующей двухполосной дороге 60К-3 общего пользования регионального значения.

Литература

1. Схема ЛЭП и электроснабжения России [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: https://frexosm.ru/power/#12.63/46.51973/41.33273.
2. Российский метеорологический сайт «Расписание погоды» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: https://rp5. ru.

А.Б. Смирнов, студ.; А.Г. Васьков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ СЭС МЭИ К СЕТИ 380 В

В настоящее время принят во втором чтении законопроект №581324–7 «О внесении изменений в Федеральный закон «Об электроэнергетике» в части развития микрогенерации», он подразумевает возможность подключения объектов микрогенерации, расположенных в зоне деятельности гарантирующего поставщика, к энергетической системе, с целью продажи электроэнергии, полученной от источников микрогенерации. Однако нормативно-технический регламент РФ о технологическом присоединении на объектах микрогенерации не существует.

В связи с этим, основываясь на международном опыте и анализе нормативно-технического регламента [1], разработан алгоритм проверки технологического присоединения солнечной электростанции (СЭС) установленной мощности до 15 кВт к сетям единого энергоснабжения.

Выполнение алгоритма обеспечивает проверку правильного технологического присоединения СЭС к централизованной энергосистеме, и соответствие вводимого объекта микрогенерации международным стандартам.

Алгоритм предусматривает проверку следующих позиций: параметры фотоэлектрической (ФЭ) системы (напряжение холостого хода и ток короткого замыкания); параметры проводки (тип, сечение [mm^2]); сопротивление изоляции ФЭ системы (МОм); корректно функционирующие распределительные устройства, верификационные документы.

Алгоритм апробирован на примере СЭС МЭИ. Солнечная станция состоит из 4 массивов солнечных модулей:

1) Солнечная панель TCM-200B x8 шт., инвертер SOFAR 2200TL
2) Солнечная панель TCM-200B x8 шт., инвертер SOFAR 3400TL–D
3) Солнечная панель JKM270P-60 x7 шт., инвертер SMA SI5048
4) Солнечная панель SRP-320-E0 B x6 шт., инвертер SMA SI5048

Литература

1. ГОСТ Р МЭК 61557-1-2005. Сети электрические распределительные низковольтные напряжением до 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока. Электробезопасность. Аппаратура для испытания, измерения или контроля средств защиты.

А.Б. Смирнов, студ.; А.Г. Васьков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ТИПОВЫХ КОМПЛЕКТОВ СЭС

В некоторых регионах РФ, где отсутствует единая энергосистема, в целях снижения затрат на дизельное топливо, реализуются проекты солнечной электростанции (СЭС), работающие параллельно с дизельными станциями. Проанализировав существующий рынок подобных проектов, выявился основной спрос на проекты мощностью 15–100 кВт.

Однако разработка схемы и комплекта оборудования для СЭС осуществляется каждый раз для определенного случая индивидуально и занимает длительное время. В стоимость нетипового комплекта СЭС входит разработка данного проекта, что значительно увеличивает цену проекта.

Для сокращения времени и стоимости проекта предложено реализовать номенклатурный типовой проект. Данная работа направлена на разработку типовых комплексов СЭС, которые могли бы применяться повсеместно, в зависимости от потребностей заказчика и географического расположения.

Анализ современного рынка проектов диапазоном 15–100 кВт показал, что наиболее востребованнымиоказались: станции мощностью 10 кВт и 15 кВт, солнечные панели мощностью 200-300Вт.

Средняя удельная стоимость станции мощностью 10 кВт составляет 151 руб./Вт, минимальнаястоимость 121 руб./Вт, максимальная стоимость 182 руб./Вт. В работе спроектированы СЭС мощностью 20кВт и 50 кВт для номенклатурных типовых проектов. Выбрана децентрализованная схема постоянного тока электростанции, в соответствие с [1].

Литература

1. **Г.Ч. Чо, М.Р. Жиганшина.** Сборник задач по электрической части солнечных электростанций // Учебное пособие, Издательство МЭИ 2017.

Д.А. Михайлов, студ.; рук. А.Г. Васьков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПОРТАТИВНОГО СВОБОДНОПОТОЧНОГО ГИДРОАГРЕГАТА МАЛОЙ МОЩНОСТИ

В настоящее время на территории России проживает 144 млн. человек, подавляющее большинство из которых пользуются устройствами сотовой связи, и возможность подключиться к общей системе электроснабжения зачастую отсутствует. Топливный генератор, как источник энергии, помимо шума, сопровождается выхлопами газов, продуктами сгорания, что негативно сказывается на окружающей среде [1].

Возобновляемая энергетика — решение данной проблемы. В данной работе будет рассмотрена возможность электроснабжения потребителя с малой мощностью потребления, при помощи свободнопоточной гидроэлектроустановки [2].

В ходе выполнения работы автором:

— рассмотрены существующие технические решения портативных свободнопоточных гидроагрегатов малой мощности;

— предложены, проанализированы и рассчитаны три технических метода реализации портативной гидроэлектроустановки — пропеллерная турбина, ротор Дарье и ротор Савониуса;

— на основе пропеллерной турбины реализован экспериментальный образец;

— проведены испытания гидроэлектроустановки с получением характеристик, таких как значения тока, напряжения, оборотов гидротурбины и скорости течения потока воды в экспериментальной установке.

По результатам проведенных испытаний было принято решение о целесообразности реализации рассмотренной модели. В ближайшие планы входит продолжение исследования, разработка более энерговыробатываемого образца [3].

Литература

1. **Б. Б Кажинский.** Свободнопоточные гидроэлектростанции малой мощности.
2. ОСТ 108.023.107–85 Гидротурбины гидравлические горизонтальные капсульные.
3. **Д.Н. Горелов**. Обзор результатов экспериментальных исследований энергетических характеристик ротора Дарье**.**

Н.И. Чухин, асп.; рук. А.И. Счастливцев, к.т.н., с.н.с. (ОИВТ РАН, Москва)

РАСЧЕТ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНОЙ СИСТЕМЫ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Одними из очевидных недостатков солнечных панелей считаются их неспособность производить электрическую энергию в темное время суток и снижение эффективности в пасмурную погоду. Кроме этого при проектировании солнечной электростанции применительно к реалиям российских северных широт необходимо учитывать фактор сезонности, т.к. продолжительность светового дня зимой существенным образом снижается, а вместе с ней и потенциальное количество энергии, которое может преобразовать в электричество солнечная панель. В связи с этим произведен расчет аккумулирования электроэнергии от солнечной электростанции номинальной мощностью 150 кВт за счет использования водородно-воздушной газотурбинной системы [1]. Было принято, что солнечная электростанция с системой аккумулирования энергии снабжает энергией небольшое производство и рабочий поселок, т.е. присутствуют промышленные и бытовые потребители энергии. Такая система аккумулирования энергии позволяет осуществлять накопление энергии в сжатом компрессорами воздухе, а также в полученных за счет электролиза воды водороде и кислороде.

Для расчета параметров системы аккумулирования была выбрана модель солнечной панели российской компании Hevel HVL-380/HJT. Для оценки среднемесячного количества выработки и аккумулирования энергии использовались архивные данные по солнечной инсоляции сайта NASA POWER [2].

Литература

1. **Счастливцев А.И., Назарова О.В.** Водородно-воздушная газотурбинная система аккумулирования энергии // Теплоэнергетика. 2016. №2.
2. NASA POWER Prediction of Worldwide Energy Resources [сайт]. URL: http://power.larc.nasa.gov/

И.Ю. Шаров, асп.; С.П. Черепанов, асп; рук. А.С. Волков, д.т.н., доц (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ НА ЭНЕРГО-КАВИТАЦИОНННЫЕ КАЧЕСТВА

Рассматриваются вопросы в исследовании и улучшении эксплуатационных характеристик центробежных насосов, на основе гидрофобизации функциональных поверхностей элементов проточной части, в рамках продолжения работ, приведенных в [1, 2].

Известно, что центробежные насосы используются в различных отраслях [3] и достаточно широко представлены, в том числе, в нефтяной и в отрасли водоснабжении, на привод которых затрачивается до 30% вырабатываемой во всем мире электроэнергии. По данным российской ассоциации производителей насосов и зарубежных литературных источников традиционные модернизации конструкции практически исчерпали свою эффективность. Сейчас, одной из перспективных модернизаций является гидрофобизация поверхностей проточной части насосов.

Экспериментальные исследования [1, 2] проводились на стенде НИУ «МЭИ», представляющий собой многофункциональный модульный стенд обратимых гидравлических машин, предназначенный для моделирования условий работы насосов и/или гидротурбин в системах водо- и теплоснабжения. В частности, одной из возможных функций стенда, использованной в настоящем исследовании, является снятие энергетических характеристик насоса.

В процессе предстоящих исследований планируется изучить влияние гидрофобизированных элементов проточной части друг на друга, что особенно актуально для многоступенчатых насосных агрегатов.

Литература

1. **Вихлянцев А.А.** Повышение эксплуатационных характеристик насосного оборудования, работающего в системах тепло- и водоснабжения // Молодежный научно-технический вестник. 2016. №9.
2. **Волков А.В.** Влияние гидрофобизации рабочих колес центробежных насосов на их эксплуатационные характеристики // Теплоэнергетика. 2016. №12.
3. **Михайлов А.К., Малюшенко В.В.** Лопастные насосы. М.: Машиностроение, 1977.

С.П. Черепанов, асп.; И.Ю. Шаров, асп.;
рук. А.В. Волков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОТОЧНЫХ ЧАСТЕЙ ГИДРОТУРБИН НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ БИОМИМИКРИИ

Задача состоит в моделировании и разработке микрогидротурбины с наростами на верхней кромке рабочего колеса.

Еще в далекие времена люди, наблюдая за различными животными, растениями и природными явлениями, находили некоторые закономерности. Так человек научился добывать огонь, создал жилища, календарь, одежду и много других необходимых вещей. Современные ученые тоже черпают вдохновение в природе. Можно привести достаточно примеров использования природоподобных технологий в современном мире: ультразвуковые локаторы, ласты, застежки-липучки и пр. Такая коллаборация человека и природы называется биомимикрия.

Основываясь на патенте [1], было принято решение о создании микрогидротурбины с наростами, как на плавнике у китов, расположенными на верхней кромке лопастной системы рабочего колеса.

Турбина была разработана с использованием, среды компьютерного моделирования AutoDesk Inventor. Теоретические расчеты проводятся в Autodesk CFD.

Натурные испытания проводятся на базе лаборатории гидроаэромеханика НИУ «МЭИ» на стенде для экспериментальных исследований микрогидротурбин.

Производится сравнительный анализ стандартной микрогидротурбины и микрогидротурбины с «наростами» на верхней кромке, а также различной конфигурации подобных «наростов».

Ожидается, что такое решение позволит снизить пульсации давления, перетоки, индуктивные и концевые потери, улучшить гидродинамическое качество обтекания лопастей потоком и повысит энергоэффективность гидротурбины.

Турбины подобного типа можно будет использовать как основу малых комплексов энергетических установок на основе возобновляемых источников энергии. Что позволит, не загрязняя окружающую среду развивать в удаленных регионах автономную микроэнергетику.

Литература

1. **Dewar S.W., Watts P., Fish F.E.** US Patent No. US 20090074578 A1 — Turbine and compressor employing tubercle leading edge rotor design (3/19/2009).

Д.В. Сергеева, студ.; рук. А.Е. Кондратьев, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

ТЕПЛОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БАЗЫ ПОД РЕГОЛИТОМ

Учёные создают карту поверхности луны, для ее колонизации. Проблема организации обитаемой станции является актуальной.

Цель: разработка модели теплого аккумулятора и лунной базы в целом, обобщение теории о возможности колонизации лунной станции.

Температура на поверхности Луны колеблется от +127 до -173^{0}С, преобладают радиационные и метеоритные проблемы [1]. Предлагается жилое, научно-исследовательское сооружение на глубине 1 м с установкой для получения кислорода и воды из реголита [2]. Размещение обеспечит надежную защиту от радиации, температура на такой глубине постоянная — -35^{0}С [3]. С помощью солнечного коллектора и солнечной батареи подзаряжаются энергетический и тепловой аккумуляторы в дневное время. Тепловое обеспечение лунной ночью осуществляется от аккумулятора тепла. При наступлении лунного дня цикл повторяется [4]. Лунная ночь длится ~ 354 земных часов. Пусть аккумулятором тепла будет служить помещение, заполненное водой. На одного человека за это время необходимо в среднем 3500 л. Из них 5–7 л будут циркулировать для отопления помещения размером 30 м^3 с помощью теплового насоса. Таким образом, вода не замерзая идет на личное использование, на обогрев жилого помещения. Также путем электролиза из лунного реголита можно извлекать до 8% (весовых) кислорода [5].

Вывод: предлагаемая конструкция позволяет обеспечить безопасные условия, проводя научные исследования в области планетологии, астрономии и т.д., добыванию полезных ископаемых и т.п.

Литература

1. **Максим Заболоцкий.** Температура на луне, 2018. — URL: https://spacegid.com/temperatura-na-lune. html. (дата обращения: 07.09.19)
2. **И.И. Черкасов, В.В. Шварев.** Грунт Луны. «Наука», М.:1975 г., 144 стр., 25000 экз. Академия наук СССР, серия «Проблемы науки и технического прогресса». — стр. 14–19
3. **Мухин Ю.** Лунная афера США. — Москва: Яуза, Эксмо, 2007 г. — 512 стр.
4. **Сергеева Д.В., Кондратьев Е.А.** Особенности обеспечения жизнедеятельности на лунной станции. Научному прогрессу — Творчество молодых. Часть 2. — 2019. (страница 169)
5. **Яковлева Е.** Ученые придумали, как добывать воду и кислород на луне. — URL: https://moya-planeta.ru/news/view/uchenye_pridumali_kak_dobyvat_vodu_i_kislorod_na_lune_34803 (дата обращения: 01.12.19)

Д.Д. Карасева, Д.Я. Каюкова, студенты;
рук. А.Г. Васьков, к.т.н., доц.(НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ МИНИ-ГАЭС И ХИМИЧЕСКОГО АККУМУЛЯТОРА В РАБОТЕ С СОЛНЕЧНО-ДИЗЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ

В настоящее время в мировой энергетике остро стоит вопрос перехода от традиционных способов генерации к использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Одной из основных проблем производства электроэнергии на основе ВИЭ является необходимость применения аккумуляторов в связи со стохастическим характером поступления энергоносителя.

Среди существующих способов накопления электроэнергии ГАЭС выделяются рядом своих преимуществ, однако в России не получили широкого распространения. Также стоит отметить высокий интерес энергетического сообщества к малой гидроэнергетике [1], из чего следует особая актуальность исследования работы мини-ГАЭС в сравнении с более широко распространенным типом систем накопления энергии — химическими аккумуляторами.

В данном исследовании примером служит солнечно-дизельная электростанция, работающая в изолированной сети с литий-ионными аккумуляторами, для которой рассматривается альтернативная система накопления электроэнергии: проектируется мини-ГАЭС и производится ее сравнение с системой химических аккумуляторов по техническим и экономическим показателям [2].

Результаты проведенного анализа могут служить основой для оценки перспектив развития малого гидроаккумулирования в России на ближайшее время.

Литература

1. **Проскурякова Л.Н., Ермоленко Г.В.** Возобновляемая энергетика 2030: глобальные вызовы и долгосрочные тенденции инновационного развития. М.: Издательский дом НИУ ВШЭ, 2017.
2. **Синюгин В.Ю., Магрук В.И., Родионов В.Г.** Гидроаккумулирующие электростанции в современной энергетике. М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2008.

Направление

ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН

Директор ГПИ, доцент А.Б. Родин

Секция 61.
ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН

Председатель секции — Панкратова Александра Владимировна
Секретарь секции — Чахеева Екатерина Ивановна

А.П. Катюхина, студ.; рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

БАУХАУЗ КАК СТИЛЬ В СОВРЕМЕННОМ ПРОМЫШЛЕННОМ ДИЗАЙНЕ

В период становления дизайна как социальной практики стилистика школы Баухауз была не просто актуальной, а определяющей вектор развития дизайна.

Принципы, разработанные руководителями школы Баухауз, — Вальтером Гропиусом, Людвигом Мис ван дер Роэ, Ханнесом Майером — легли в основу передового дизайна во всем мире [1]. Как известно, эти принципы заключались в лаконизме, геометризме, пуризме, отказе от орнаментации, функционализме. В промышленном дизайне принципы Баухауза выразились в предпочтении чистой функциональности, минимализме, отказе от украшательства. Особое внимание уделялось использованию в мебели стальных трубок [2].

Если архитектура Баухауза была, основном, монохромной, то в промышленном дизайне использовались локальные цвета поверхностей, иногда достаточно яркие.

Сегодня, спустя сто лет после деятельности Баухауза, принципы и идеология Баухауза переживают вторую волну актуальности в промышленном дизайне. Постмодерн, отрицавший идеологию Баухауза, в настоящее время сдает свои позиции. В дизайн возвращается все то, что считалось передовым в начале XX века. Если рассмотреть наиболее яркие образцы современного промышленного дизайна, то очевидными станут следующие черты: минималистичность, функциональность, отсутствие стилистических игр и цитат (того, что было опредеяющим в дизайне постмодерна), отсутствие орнаментов и украшений. Современный промышленный дизайн вернулся к стилистике Баухауза.

При этом в современном промышленном дизайне часто можно наблюдать не прямое использование стилистических приемов Баухауза, а их интерпретацию. Так, например, в упаковке продукции La Prairie используются геометризированные формы, характерные для Баухауза, однако, при этом дизайн выполнен в нехарактерном для Баухауза ультрамариновом оттенке синего. Другой пример — современная мебель, лаконизм которой превосходит лаконизм Баухауза.

Литература

1. История мирового искусства / отв. ред. Е. Сабашников. — М.: БММ АО, 1998. — 717 с.: ил.
2. **Михайлов, С.М.** История дизайна. В 2 т. Том 2.: Учеб. для вузов / С.М. Михайлов. — М.: Союз Дизайнеров России, 2004. — 396 с., ил.

Е.А. Кудрявцева, студ.; рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ ЯПОНСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ДИЗАЙНА

Японцы, формируя пространство вокруг себя, издавна придерживались трех основных правил: функциональность, лаконичность и чистые формы. Это было обусловлено условиями острой экономии земли и ресурсов в маленьком островном государстве. И действительно, японская архитектура, несмотря на свою красоту, всегда была максимально функциональной и модульной, точно так же, как и предметы быта: они создавались таким образом, чтобы не занимать много места.

В наши дни национальный дух интерьера японцев меняется, включая в себя различные современные электроприборы, материалы. Начиная с конца второй мировой войны, Япония активно перенимает американскую культуру и дизайн. Процесс развития дизайна в послевоенной Японии шел на фоне всеобщего стремительного роста темпов развития промышленности, в результате чего Япония стала одной из стран с высокоразвитой индустрией. Научно-технических прогресс поставил перед ней сразу несколько экономических задач, среди которых были проблемы реализации собственной продукции, повышение ее качества, уникальности. Именно в этих условиях появилась необходимость уделять все больше и больше внимания дизайну.

Однако, несмотря на это, страна остается самобытной — достижения мировой науки и культуры максимально органично сочетаются здесь с традиционными японскими вещами. В японском дизайне сложилось три различных течения — национальный, интернациональный и смешанный дизайн. Так, например, по национальному обычаю принято сидеть вокруг стола прямо на полу, однако, под влиянием западной культуры, дизайнеры, вместо обычных подушек, начали создавать необычные стулья со спинками, но без ножек. Традиционные ванны, похожие на деревянные бочки, превратились в пластиковые. Оказалось, что главные принципы традиционного искусства Японии, формировавшиеся веками, — ничем не ограниченная, свободная композиция, несимметричность и целесообразность форм, которая естественно перетекала в красоту, прекрасно соответствовали веяниям современности. Вполне понятно, почему Япония стала одним из лидеров в сфере дизайна. Многие творцы едут в Японию, чтобы учиться архитектуре, керамике, декоративно-прикладному искусству. Но, несмотря на постоянный обмен опытом с западными коллегами, и, казалось бы, схожие со всем миром технологии, японский дизайн сохраняет свои особенности, которые идут от уникальной изобразительной культуры этой страны.

М.А. Горбунова, студ.; рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ТЕМЫ ОСВОЕНИЯ КОСМОСА НА ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН

Середина XX века, особенно 1960-е годы, стали поворотным моментом истории дизайна и демаркационной линией, отделяющей эпоху модернизма от постмодерна. Важным историческим событием, во многом определившим социокультурную ситуацию 1960-х стало соревнование между СССР и США в сфере освоения космоса [1].

Данная тема очень быстро вышла за пределы политики и проникла во все сферы социальной жизни, в первую очередь, в искусство и кинематограф. Промышленный дизайн, как одна из наиболее активно развивающихся социальных практик середины XX века, был вовлечен в тему космоса не менее, чем другие сферы.

В дизайне бытовых изделий на Западе тема космоса проявилась в активном использовании обтекаемых «космических форм». Бытовые предметы имитировали детали космического корабля. Особенно сильно связанной с темой космоса оказалась идея округления изделий. «Круглое» ассоциативно было связано в массовом сознании с «космическим». Скруглялись даже те объекты, которые изначально не обязаны быть круглыми, такие как проигрыватель для пластинок, например.

Другим выражением космической темы в промышленном дизайне стало «призматическое». Геометрическая форма призмы также связывалась в массовом сознании с темой космоса. Вероятно, данная ассоциация отражает представления о форме ракеты. Особенно ярко форма ракеты проявилась в США в дизайне автомобилей.

В СССР тема космоса проявлялась в промышленном дизайне не менее активно, чем на Западе. Особенно часто космическая тема проявлялась в СССР в дизайне пылесосов. Особой сферой дизайна на тему космоса стали в советском дизайне елочные игрушки (на Западе в дизайне наблюдается меньше образцов елочных игрушек на тему космоса). Вероятно, это связано с тем, что советский человек бессознательно свои новогодние надежды связывал с освоением космического пространства.

Таким образом, дизайн отражал не столько объективные реально существующие космические объекты, сколько представления о теме космоса, существующие в коллективном сознании и бессознательном.

Литература

1. **Михайлов, С.М.** История дизайна. В 2 т. Том 2.: Учеб. для вузов / С.М. Михайлов. — М.: Союз Дизайнеров России, 2004. — 396 с., ил.

В.К. Баженова, студ.; рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИЗАЙНА ТЕХНИКИ КОМПАНИИ «ОЛИВЕТТИ»

Развитие экономики после Второй мировой войны было тесно связано с укреплением убежденности в коммерческой силе дизайна. В США дизайн быстро стал сферой деятельности профессиональных дизайнеров. В Европе показательными примерами восстановления экономики после войны средствами дизайна стала деятельность компаний «Оливетти» и «Браун». Обе компании производили бытовую технику, поэтому интересны как примеры участия и роли промышленного дизайна в восстановлении экономики после войны.

Итальянская компания по производству пишущих машинок «Оливетти» была создана в 1908 г. Камилло Оливетти. Камилло Оливетти, интересующийся, в первую очередь, инженерными проблемами, произвел эстетический переворот в промышленном дизайне. Дизайнер создал первую машинку М-1, привлекшую всеобщее внимание простотой и надежностью конструкции. Его дело продолжил сын Адриано Оливетти, сторонник функционализма, изучивший деятельность Баухауза и произведения Гегеля, Маркса, Рескина. Перед началом великого кризиса 1929 года Оливетти пригласил на службу группу молодых дизайнеров из Веймара, среди которых были Александр Щевинский, Константино Нивола, Леонардо Синисгалли и Джованни Пинтори.

Особая роль была отведена недорогой и эффективной рекламе, в которую внесли использование фотографии, монтаж, характерные для дизайна модернизма. Были разработаны новые типы пишущих машинок, а также эскизы промышленных, жилых и общественных зданий. Марчело Ниццоли создал модели «Лексикон 80» и «Леттера 22», используя конструктивные элементы в качестве выразительных декоративных элементов, упростив форму. Позднее Ниццоли разработал модель «Диаспрон», которую одни резко критиковали за манерность, а другие превозносили за оригинальность решения. Этторе Соттсас создал модель «Элеа 9003», в основу которой легла композиция из квадратов, прямоугольников и треугольников.

Таким образом, промышленный дизайн «Оливетти» оказался соединением двух противоположных тенденций в дизайне: функциональности, идущей от Баухауза, и эстетичности, являющейся фундаментом итальянской культуры. Именно в этом заключалась особенность формирования промышленного дизайна данной фирмы.

Д.А. Погребняк, студ.; рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ КУБИЗМА НА СОВРЕМЕННЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН

Как известно из манифеста кубизма, основа эстетики кубизма состоит в отказе от подчинения изображения законам перспективы, использовании прямых линий и геометрических фигур, сочетания ярких цветов, простота и минимализм.

В XX веке приёмы кубизма использовали архитекторы для сооружения зданий необычной формы. В эпоху постмодерна использование методов кубизма в архитектуре трансформировалось в направление деконструктивизм.

В начале XXI века многие дизайнеры снова стали использовать некоторые приёмы кубизма в интерьере. Благодаря геометрическим формам и прямым линиям дизайнерам удавалось создать иллюзию «парения в воздухе» предметов мебели. Благодаря приёмам кубизма мебель стала более функциональной и напоминающей некий конструктор, который можно удобно перемещать в пространстве. Это помогло дизайнерам создавать среду с открытым пространством без лишней вычурности.

В современном промышленном дизайне приёмы кубизма используются не только для того, чтобы упростить форму предметов и добавить функциональность, но и для того, чтобы придать особую эстетику, которая ассоциируется у нас современными технологиями.

Многие дизайнеры вдохновляются природными формами и с помощью геометрических фигур и прямых линий, характерных для кубизма, преображают предметы быта, мебели и керамические изделия.

В своих работах современные дизайнеры используют ограниченную цветовую палитру, что помогает сконцентрировать внимание зрителя на форме предмета и не перегружать сам объект.

Для промышленных дизайнеров, которые работают в стилистике кубизма, главной целью передачи художественной выразительности являются не узоры и изысканная отделка, а создание интересных оптических эффектов и пространственных объемов благодаря проработке геометрических форм и плоскостей, плавности линий, искажению пропорций и комбинированию фигур.

Приёмы кубизма часто используются для создания дизайна новых технологий таких как: смартфоны, компьютеры, автомобили, световые конструкции и бытовая техника.

Т.Д. Павленко, студ.; рук. Е.Н. Тестина-Лапшина, доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ДЕТСКОЙ ИГРУШКИ КАК ДИЗАЙН-ЗАДАЧА

Всестороннее развитие ребенка в большой степени зависит от игровой деятельности. Виды игровой деятельности меняются с возрастом ребенка, и для каждого возраста характерны свои преобладающие черты. В процессе игры ребенок развивает координацию движений, мелкую моторику рук, узнает правила поведения в обществе, усваивает базовые знания о мире, такие как цвет, форма, фактура, учится соотносить объекты с присущими только им свойствами. Для ребенка возрастом от трех лет характерна игровая деятельность, развивающая двигательные функции, навыки общения с другими людьми, восприятие другого человека как отдельного существа. Игры и игрушки для ребенка от трех лет должны иметь цель и содержать сценарии для совместного взаимодействия нескольких детей или ребенка и взрослого, задания на соотнесение объекта и его устойчивых функций и свойств и по назначению. Также в игровом процессе должно оставаться поле для фантазии и самостоятельного домысливания сценария игры, так как в возрасте от трех лет ребенок начинает проявлять интерес к непредметным понятиям и начинает фантазировать.

На основании анализа целевой аудитории по возрастным группам было решено сделать игрушку для ребенка от трех лет, носящую развивающий характер. Предлагаемая игрушка выполнена из дерева в размере и массе, которые комфортны для ребенка. Игрушка должна способствовать развитию мелкой моторики рук ребенка, изучению и запоминанию основных цветов, повышению внимания и концентрации, развитию скорости реакции. Для выполнения этих задач ребенку предлагается соотносить основные загорающиеся цвета на боковой панели с цветами на верхней панели посредством нажатия кнопки с цветовым обозначением. В качестве визуально-звукового подтверждения правильности действий выступает музыкальное сопровождение и цветовое мигание. В подтверждения неправильного действия выступает световой сигнал, после которого ребенок может попробовать снова.

Игра предполагает сценарий взаимодействия ребенка с родителем, который помогает ребенку запоминать цвета и может предлагать дополнительные варианты игрового процесса, например, в соревновательной форме. Игрушка выполнена из безопасных и экологичных материалов с использованием роботизированных элементов. Упаковка игрушки экономична и использует минимальное количество ресурсов для своего изготовления, предполагает удобную транспортировку изделия и безопасное хранение.

К.Р. Шеина, студ.; рук. Е.Н. Тестина-Лапшина, доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАЗВИВАЮЩЕЙ ДЕТСКОЙ ИГРУШКИ

В каждом возрасте к ребёнку необходим особый подход, который бы способствовал его развитию. В возрасте шести-семи лет у ребёнка идёт активное развитие опорно-двигательной и нервной систем. Восприятие становится осмысленным, анализирующим. Улучшается внимание и способность к построению причинно-следственных связей. И, что немаловажно, он становится частью общества и учится взаимодействовать со сверстниками и обществом в целом. Проектирование игрушек для ребенка является интересной задачей дизайнера, так как игрушка должна отвечать возрасту и выполнять основную задачу — способствовать развитию ребенка. В своей работе мы предлагаем проект развивающей детской игрушки «Вектор Z».

Игрушка «Вектор Z», являющаяся модернизированным аналогом известной игры «Холодно-Горячо» способствует развитию самых важных качеств ребёнка в дошкольном и раннем школьном возрасте.

Основой для её дизайна послужила тема космоса: в игровой комплект вошёл пульт управления в форме космического корабля и небольшой маячок. Также за счёт небольшой истории, расположенной в начале инструкции, у ребёнка появляется определённый логический сюжет для начала игры. В дальнейшем ребёнок учится придумывать сюжет самостоятельно. Для игры требуется участие как минимум двух людей, что способствует развитию коммуникативных связей ребёнка.

Игрушка имеет робототизированное оснащение, основанное на работе набора LEGO Mindstorms EV3, благодаря чему мы получаем не только доступное обеспечение для проектируемой игрушки, но и предоставляем возможность взглянуть на всем известный конструктор с другой, новой стороны, что связано с его дизайном.

Игрушка выполнена из новейших материалов, безопасных для ребёнка. Кроме того, игрушка приятна на ощупь и эргономична (с учётом возрастной категории). Благотворно влияет на нервную систему: уровень шумовых и световых эффектов не раздражает зрение и слух.

Таким образом, нами была спроектирована развивающая детская игрушка, которая отвечает поставленным задачам: соответствовать возрасту ребенка и выполнять развивающую функцию.

Направление

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА В ВОЕННОМ ДЕЛЕ

Зам. директора ВИИ, к.в.н.,
доцент В.И. Ивахненков

Секция 62.
РАБОТА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Председатель секции — Ивахненков Вадим Иванович
Секретарь секции — Бурова Татьяна Семеновна

С.С. Кочнев, соиск. (ВУНЦ СВ «ОВА ВС РФ»,г. Москва);
рук. В.И. Ивахненков к.воен.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АДАПТИВНОЕ ЭЛЕКТРИЗУЕМОЕ ЗАГРАЖДЕНИЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ОТ ПРОНИКНОВЕНИЯ НАРУШИТЕЛЕЙ

В современных условиях особенно остро стоит вопрос обеспечения антитеррористической защищенности и безопасности объектов энергосистемы, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций [1].

В качестве инженерно-технических средств в системах физической защиты объектов энергосистемы наиболее целесообразно, применять технические средства активной защиты на основе того, чего на этих объектах имеется в достаточном количестве, то есть на основе электрической энергии. Одним из таких средств является электризуемое заграждение [2, 3].

В результате проведенных исследований по совершенствованию электризуемых заграждений разработан комплекс технических решений, обеспечивающий адаптивность средства к изменяющимся условиям местности и обстановки. Адаптивность достигается: введением в состав высоковольтного блока контроля и управления микроконтроллера, позволяющего реализовывать различные алгоритмы управления и режимы работы заграждения, возможностью подключения к заграждению различных линейных частей, выбор которых зависит от типа местности и применением нового способа контроля состояния линейной части, устойчивого к изменению погодных условий [4, 5, 6].

Полученные в результате проведенных исследований результаты реализованы при разработке перспективных средств физической защиты объектов в АО «Научно-производственный комплекс «Дедал» (г. Дубна).

Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 13 мая 2019 г. №216 «Об утверждении Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации».
2. Федеральный закон от 21 июля 2011 г. №256-ФЗ «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса».
3. **Удинцев Д.Н., Франскевич А.А., Слепов А.Н., Русанов В.А.** Пути применения электроэнергии для обеспечения безопасности объектов // Специальная техника и связь. 2012. №1. С. 31–34.
4. **Удинцев Д.Н., Кочнев С.С., Жуковский Л.Г.** Адаптивное электризуемое заграждение. Патент на изобретение от 08 августа 2019 г. №2697029. 6 с.
5. **Удинцев Д.Н., Кочнев С.С., Моташенко С.В., Кравцов А.В., Смоголев С.А., Львов Д.Г.** Способ и устройство контроля состояния линейной части электризуемого заграждения и регистрации попыток её преодоления по динамическому мониторингу электрических параметров. Патент на изобретение от 23 июля 2019 г. №2695385. 15 с.
6. **Удинцев Д.Н., Хлебнов А.В., Мурыгин А.С., Кочнев С.С.** Программа управления быстроразвертываемым электризуемым заграждением. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 06 июля 2017 г. №2017617543. 22 с.

П.К. Милованов; рук. Д.Н. Удинцев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАПАЗОНОВ ГИБКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Для России стабильная работа электроэнергетической системы (ЭЭС) имеет особую значимость. Одним из распространенных управляющих воздействий противоаварийной автоматики, предназначенной для предотвращения развития аварийных режимов в ЭЭС, является отключение нагрузки [1]. В качестве отключаемой нагрузки наиболее часто применяются крупные распределительные подстанции или энергоемкие потребители. Данный подход не учитывает наличие различных требований к обеспечению надежности у отдельных групп электроприемников. Необходима разработка способа предотвращения развития аварийных ситуаций, учитывающего требования по надежности потребителей и исключающего их полное отключение.

Новизной является разработка перспективного способа адаптации работы электроэнергетической системы в аварийных ситуациях — гибкого регулирования потребления электроэнергии [2]. Основная суть данного метода заключается в возможности формирования графика нагрузки, в зависимости от наличия свободной мощности в системе с учетом пропускной способности элементов электрической сети.

Разработана методика гибкого регулирования потребления электроэнергии, позволяющая: определить допустимые диапазоны временного повышения пропускной способности элементов электрической сети за счет учета их суммарной термической нагрузки; выполнить расчет уставок защитных аппаратов и согласование их работы, в целях функционирования элементов электросети в режиме возможных кратковременных перегрузок, не допуская их отключения; определить количество неприоритетных потребителей электроэнергии, подлежащих к ограничению в периоды отсутствия свободной мощности в системе.

Перспективы исследований — применение данного способа в существующей энергосистеме для предотвращения развития аварийных ситуаций, а также в изолированных энергосистемах для приведения графика нагрузки в соответствие с имеющейся свободной мощностью.

Литература

1. **Овчаренко Н.И.** Автоматика энергосистем: учебник для вузов. — 3-е изд., исправленное — М.: Издательский дом МЭИ, 2009, — 476 с.: ил.
2. **Милованов П.К., Удинцев Д.Н., Шведов Г.В.** «Предотвращение развития аварийных ситуаций в электроэнергетической системе за счет гибкого регулирования потребления электроэнергии» Электроэнергия. Передача и распределение, 2019, №5 (56).

Секция 63.
ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Председатель секции — Ивахненков Вадим Иванович
Секретарь секции — Бурова Татьяна Семеновна

Е.А. Мохорт, студ., рук-ли Д.А. Силаев, преп.; В.И. Рубинов, к.т.н., доцент, нач. каф. (ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж))

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПЕРИОДИЧНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ И РЕМОНТУ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО СУДНА

В традиционных методиках решения задач расчета периодичности выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) элементов системы электроснабжения воздушного судна (СЭС ВС) не учитывается зависимость надежности самой системы от логического соединения составляющих его элементов. Однако в зависимости от места элемента в структурно-логической схеме надежности системы один и тот же отказ элемента может привести к различным последствиям.

Рассмотрим методику расчета периодичности выполнения работ по ТОиР элементов СЭС ВС, учитывающую надежность изделия авиационной техники (АТ), как в зависимости от характеристик его комплектующих элементов, так и в зависимости от места элемента в структурно-логической схеме надежности самой системы.

Для решения таких задач удобно использовать структурно-логические схемы надежности систем, которые графически отображают взаимосвязь элементов и учитывают их влияние на работоспособность системы в целом

Структурно-логическая схема представляет собой совокупность выделенных элементов, соединенных друг с другом последовательно или параллельно. Критерием для определения вида соединения элементов является влияние их отказа на работоспособность системы в целом. При построении структурно-логической схемы системы в первую очередь необходимо оценить влияние каждого элемента на работоспособность системы в целом.

Таким образом, определение периодичности выполнения работ по ТОиР, в зависимости от места элемента в структурно-логической схеме надежности системы, позволит обеспечить требуемую вероятность безотказной работы СЭС ВС при минимальном количестве обслуживаний, что приведет к снижению затрат на необоснованное ТОиР. На основании полученных результатов, делаются выводы о необходимости изменения или доработки элементной базы, резервировании отдельных элементов, об установлении оптимальной периодичности ТОиР, о номенклатуре и количестве запасных элементов необходимых для ремонта и т.д.

Е.А. Мохорт, студ.: рук-ль Д.А. Силаев, преп.;

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АККУМУЛЯТОРОВ И ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ АВАРИЙНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Задача улучшения эффективности аккумуляторов и надежности их как аварийных источников питания в системе электроснабжения. воздушных судов является приоритетной.

Проведенный анализ показал, что аккумуляторные батареи, которые на сегодняшний день устанавливаются на воздушных судах требуют, серьезного периодического технического обслуживания и в зависимости от типов имеют ряд существенных недостатков, например: тепловой разгон, вредная сульфатация и т.д.

При рассмотрении характеристик современных аккумуляторов, которые применяются повсеместно, где нужен автономный источник питания, можно сделать вывод, что некоторые типы можно использовать и в качестве аварийных источников питания на воздушных судах. Они более надежные и не требуют много времени на периодическое техническое обслуживание.

Ранее не переходили к новому типу аккумуляторов из-за невозможности использования при определенных условиях. Более емкие, новые аккумуляторы не обладают эффектом памяти, не было выявлено случаев теплового разгона, и отсутствует сульфатация. В настоящее время существуют типы аккумуляторов, обладающих всеми свойствами самых емких и при этом способны работать с температурами до –30 °С. Обобщая выше сказанное, получаем современный аккумулятор более эффективным. Конечно, в явном виде их использовать нельзя и требуется внесение конструктивных изменений, и они должны отвечать всем требованиям, которые предъявляются ко всему оборудованию воздушных судов, и непосредственно к системам электроснабжения.

Так же, одним из основных показателей в аварийных источниках питания является надёжность. Предыдущие модели показывали достаточный уровень надежности, в то время как новые аккумуляторы, рассматриваемые в этой работе, имеют принципиально другой уровень и во многом соответствуют современным требованиям надежности, а также превосходят предыдущие по другим показателям.

Таким образом, современный тип аккумуляторов показывает высокие заявленные характеристики и уровень надежности, но требует к себе большего внимания, чтобы в дальнейшем его можно было использовать как аварийный источник питания на воздушном судне.

Секция 64.
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СПЕЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Председатель секции — Ивахненков Вадим Иванович
Секретарь секции — Бурова Татьяна Семеновна

А.В. Браславец, А.И. Свистков, студенты;
рук-ли К.Н. Орешников, А.М. Литвиненко

ВЫРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ГЛУБОКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ АЭРОДРОМНЫХ СВЕТОСИГНАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ СВЕТОВЫХ ОГНЕЙ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ И ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Характерной особенностью традиционных светосигнальных полос (ССП) являются: высокое напряжение в магистральном кабеле при относительно невысоком токе. Это предопределило необходимость применения оригинальных дорогостоящих элементов ССП: специального магистрального кабеля и разделительных трансформаторов (РТ) для каждого аэродромного огня (АО). Однако, постоянный рост цены на энергоносители предопределил мировую тенденцию развития энерго- и ресурсосберегающих технологий (ЭРСТ).

Появление промышленных образцов сверхмощных светодиодов и матриц создали необходимые предпосылки для практического освоения ЭРСТ при построении ССП нового поколения, что позволит снизить потребляемую из сети электрическую мощность не менее чем в 3–5 раз, а массогабаритные показатели регулятора яркости (РЯ) улучшить более, чем на порядок по сравнению с традиционной его структурой.

Тенденции развития по техническому уровню аэродромных светосигнальных систем (АССС) позволяют наметить направления выработки концепций и технических решений для их глубокой модернизации на основе использования в качестве световых огней светодиодов и линии электропитания постоянного тока с кардинально модернизированным РЯ.

Применение концепции глубокой модернизации АССС требует существенного изменения системы электропитания светосигнального оборудования за счет использования комбинированного кабеля ЛЭП с силовой и оптоволоконной жилами, что позволяет наряду с питанием огней ССП осуществлять управление и мониторинг контроля состояния огней в реальном времени (по признаку «годен» — «не годен»).

Таким образом, предварительный ожидаемый эффект от решения задач глубокой модернизации: снижение материалоёмкости, повышение энергоэффективности (как минимум на порядок), надёжности и технологичности, переход на новые стандарты требований по оборудованию светотехническими приборами аэропортов и аэродромов государственной авиации.

СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЕ — РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА 3
Секция 1. Теоретические основы радиотехники 4
Секция 2. Формирование колебаний и сигналов 20
Секция 3. Устройства обработки радиосигналов 39
Секция 4. Антенные устройства и распространение радиоволн 53
Секция 5. Радиолокация и телевидение 76
Секция 6. Квантовая электроника 83
Секция 7. Фотоника 100
Секция 8. Промышленная электроника 108
Секция 9. Электроника и наноэлектроника. 136
Секция 10. Биомедицинская электроника 152
Секция 11. Радиосистемы навигации и связи 163

НАПРАВЛЕНИЕ — ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 174
Секция 12. Математическое моделирование 175
Секция 13. Прикладная математика 199
Секция 14. Вычислительная техника и САПР. 215
Секция 15. Вычислительные машины, сети и системы. 223
Секция 16. Управление и информатика в технических системах. 247
Секция 17. Вычислительно-измерительные системы 268
Секция 18. Неразрушающий контроль и диагностика 277

НАПРАВЛЕНИЕ — БЕЗОПАСНОСТЬ
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 292
Секция 19. Информационная и экономическая безопасность 293
Секция 20. Прикладная и бизнес-информатика 328
Направление — Электротехника, электромеханика и электротехнологии 346
Секция 21. Электромеханические преобразователи энергии 347
Секция 22. Физика и технология материалов и компонентов 365
Секция 23. Электротехнические и электромеханические
системы и комплексы 380
Секция 24. Электрические и электронные аппараты 396
Секция 25. Электропривод и автоматика 414
Секция 26. Промышленные электротермические установки 441
Секция 27. Электрический транспорт 454

НАПРАВЛЕНИЕ — ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ 464
Секция 28. Инженерная экология 465

НАПРАВЛЕНИЕ — ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ 493
Секция 29. Общие вопросы экономики 494
Секция 30. Экономика промышленности 506
Секция 31. Менеджмент 529

НАПРАВЛЕНИЕ — ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА ПРЕДПРИЯТИЙ 578
Секция 32. Промышленная электроэнергетика 579
Секция 33. Энергетика теплотехнологии 597
Секция 34. Процессы и аппараты промышленной теплоэнергетики 638
Секция 35. Энергосбережение и промышленная экология 660
Секция 36. Промышленные теплоэнергетические системы 671
Секция 37. Электрохимическая и водородная энергетика 708
Секция 38. Экономика энергетики 725

НАПРАВЛЕНИЕ — ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОФИЗИКА 745
Секция 39. Атомные электрические станции и установки 746
Секция 40. Проблемы термоядерной энергетики и плазменные технологии . . . 779
Секция 41. Теплофизика 787
Секция 42. Техника и физика низких температур 833
Секция 43. Нанотехнологии 842

НАПРАВЛЕНИЕ — ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА 854
Секция 44. Котельные установки и охрана окружающей среды 855
Секция 45. Технология воды и топлива на ТЭС и АЭС 876
Секция 46. Схемы и режимы работы тепловых электрических станций. 897
Секция 47. Контроль, автоматизация и управление в энергетике 908
Секция 48. Теплотехника и малая распределенная энергетика 938

НАПРАВЛЕНИЕ — ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ 958
Секция 49. Энергетические установки и двигатели. 959
Секция 50. Проблемы технологии, надежности и конструирования 984
Секция 51. Робототехнические и мехатронные системы 995

НАПРАВЛЕНИЕ — ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА. 1013
Секция 52. Электроэнергетические системы. 1014
Секция 53. Электроснабжение. 1022
Секция 54. История энергетики 1037
Секция 55. Электрические станции 1040
Секция 56. Секция имени профессора Б.К. Максимова
«Электрофизика и системы управления электроэнергетических объектов» . . 1054
Секция 57. Теоретические основы электротехники. 1078
Секция 58. Техническое творчество студентов
среднего профессионального образования 1090
Секция 59. Электроэнергетика Средней Азии 1095

НАПРАВЛЕНИЕ — ГИДРОЭНЕРГЕТИКА
И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ 1109
Секция 60. Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии 1110

НАПРАВЛЕНИЕ — ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН. 1133
Секция 61. Промышленный дизайн. 1134

НАПРАВЛЕНИЕ — ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА В ВОЕННОМ ДЕЛЕ 1142
Секция 62. Работа энергосистемы в условиях чрезвычайных ситуаций 1143
Секция 63. Энергообеспечение специальных объектов 1146
Секция 64. Электромеханические системы специальных объектов 1149

Научное издание

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
И ЭНЕРГЕТИКА

Двадцать шестая Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов
Тезисы докладов

Подписано в печать 25.02.2020 г. Формат 60 x 90/16.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 72,25.
Тираж 150 экз. Заказ № 062-02/20.

Оригинал-макет и полиграфические работы —
ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“».
Тел.: (495) 252-7510.
http://www.raduga-print.ru; http://www.radugaprint.ru

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

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

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

ISBN 978-5-907292-11-6

9 785907 292116 >