



ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ

ЭНЕРГИЯ-2025

ДВАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ДВЕНАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

17-19 марта 2025 г.
г. Иваново

ТОМ 2

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ивановский государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина»

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ

«ЭНЕРГИЯ-2025»

ДВАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ДВЕНАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

г. Иваново, 17-19 марта 2025 года

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 2

ИВАНОВО

ИГЭУ

2025

УДК 621 + 62.7 + 53
ББК 31 + 22.3 + 20.1

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ // Двадцатая всероссийская (Двенадцатая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2025»: Материалы конференции. В 6 т. Т. 2. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2025. – 84 с.

ISBN 978-5-00062-678-8
ISBN 978-5-00062-676-4 (Т.2)

Тезисы докладов студентов, аспирантов и молодых учёных, помещённые в сборник материалов конференции, отражают основные направления научной деятельности области тепловой, атомной энергетики и высшего профессионального образования.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов и преподавателей вузов, интересующихся вопросами тепловой, атомной энергетики и проблемами обеспечения безопасности в техносфере.

Тексты докладов представлены авторами в виде файлов, сверстаны и при необходимости сокращены. Авторская редакция сохранена, за исключением наиболее грубых ошибок оформления.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель оргкомитета: проректор по научной работе **ТЮТИКОВ В.В.**

Зам. председателя: начальник управления НИРС и ТМ **Филатова Г.А.**

Члены научного комитета: декан инженерно-физического факультета **Кабанов О.А.**, заместитель декана инженерно-физического факультета по научной работе **Вольман М.А.**, зав. кафедрой «Атомные электростанции» **Беляков А.А.**, зав. кафедрой «Энергетика теплотехнологий и газоснабжения» **Колибаба О.Б.**, зав. кафедрой «Безопасность жизнедеятельности» **Пышненко Е.А.**, зав. кафедрой физики **Комин В.Г.**

СЕКЦИЯ 8
АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Председатель –
к.т.н., доцент **Ильченко А.Г.**

Секретарь –
к.т.н. **Вольман М.А.**

*К.А. Быков, студ.; А.В. Колеганов, асп.;
рук. В.А. Горбунов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ НА БАЗЕ РАБОТЫ ГЛАВНЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ НАСОСОВ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

В соответствие с указом президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» утверждена национальная стратегия развития искусственного интеллекта в области научно-технического развития до 2030 года. С помощью искусственного интеллекта можно создать модель предиктивной аналитики для анализа работы конкретного оборудования. В связи с этим разработка и внедрение искусственного интеллекта в процесс производства в настоящее время является актуальной задачей.

Предиктивная аналитика позволяет предсказывать вывод в ремонт оборудования на атомной электрической станции (АЭС). Данные по работе оборудования АЭС фиксируются в стековой памяти автоматизированной системы управления (АСУ) АЭС. На основе этих данных можно построить модель с применением нейросетевой технологии, которая сможет помочь проводить предиктивную аналитику по необходимости вывода в ремонт оборудования по его состоянию.

Одной из приоритетных установок с точки зрения безопасности и эффективности являются насосы ГЦН в реакторах ВВЭР. По анализу предварительных данных, используя штатные приборы, можно легко определять КПД насоса, при уменьшении которого можно судить о выводе оборудования в ремонт. С точки зрения предиктивной аналитики интересно и сравнение между собой работы однотипного оборудования во время его эксплуатации. Использование кластерного анализа данных по работе оборудования может позволить определить место аномалий в состоянии оборудования.

Библиографический список

1. Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».
2. Горбунов В.А. Использование нейросетевых технологий для повышения энергетической эффективности теплотехнологических установок: ИГЭУ имени В.И. Ленина, 2011, 476 с.

*А.А. Филимонов, студ.; рук. А.А. Филимонова, д.т.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

ВНЕДРЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА НА АЭС

Атомные электростанции (АЭС) являются важным источником энергии, обеспечивая электричеством миллионы людей по всему миру. Однако постоянное развитие технологий и стремление к повышенной эффективности и экологической безопасности ставят перед атомной энергетикой новые задачи. В связи с этим возникает вопрос использования двигателя Стирлинга на АЭС [1]. Двигатель Стирлинга – это тип теплового двигателя, который использует циклический процесс, называемый циклом Стирлинга. Он состоит из трёх основных частей: рабочего тела (обычного газа), нагревателя и холодильника. В процессе работы двигателя рабочее тело нагревается в нагревателе, расширяется и толкает поршень. Затем оно охлаждается в холодильнике, сжимается и возвращается в исходное положение. Этот цикл повторяется многократно, обеспечивая движение поршня и выработку энергии [2].

Двигатель Стирлинга может повысить эффективность АЭС за счёт использования тепла, которое обычно теряется в процессе работы. Это позволит более эффективно использовать энергию, вырабатываемую станцией, и снизить затраты на производство. Также он может использоваться в различных областях, включая производство энергии, отопление и охлаждение. Это делает его универсальным инструментом для снижения затрат на производство энергии.

Стоит заметить, что использование такого двигателя на АЭС требует значительных изменений в конструкции и процессах станции, а также адаптации ее к новой установке, также для успешной реализации проекта необходимо провести ряд исследований и разработок. Однако, в долгосрочной перспективе это может привести к снижению затрат на производство электроэнергии и повышению конкурентоспособности АЭС на рынке.

Библиографический список

1. Кириллов Н.Г. Двигатели Стирлинга – технологический прорыв в автономной энергетике 21 века. М.: Современное машиностроение, 2007.
2. Патент № 2406853 Российская Федерация. Способ выработки механической (электрической) энергии при помощи двигателя стирлинга, использующего для своей работы тепло вторичных энергетических ресурсов, геотермальных источников и солнечную энергию : № 2008129555/06 : заявл. 17.07.2008 : опубл. 20.12.2010 / Горбачёв Ю.М. – 16 с.

*А.А. Филимонов, студ.; рук. А.А. Филимонова, д.т.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ММР

Многие государства рассматривают малые модульные реакторы (ММР) как перспективный инструмент для решения своих энергетических проблем. В частности, их рассматривают ИТ-гиганты, которым требуются дополнительные мощности. В результате ММР привлекают внимание общественности и активно обсуждаются в информационном пространстве.

Компании и стартапы по всему миру ищут способы ускорить внедрение атомной энергетики. Строительство крупных реакторов доступно не всем компаниям и странам, а их разработка занимает много времени. Поэтому многие обращают внимание на малые модульные реакторы.

Во-первых, они значительно меньше традиционных атомных станций, что упрощает их установку и адаптацию к различным условиям размещения. ММР можно производить на заводах и доставлять на место эксплуатации, что снижает затраты на строительство, упрощает логистику и сокращает сроки получения продукта [1].

Во-вторых, капитальные затраты на строительство ММР в абсолютном выражении меньше, что делает их более доступными для стран и регионов с ограниченными ресурсами и не возможности подключения к централизованной системе энергоснабжения, например, в Сахалинской области или регионах Сибири и Дальнего Востока, а также привлекательными для инвесторов, которые смогут быстрее вернуть свои вложения.

В-третьих, за счёт модульности АЭС с подключенными к ним ММР могут постепенно наращивать мощности по мере роста спроса на электроэнергию, что особенно удобно для определенных стран и регионов, например, в Ростовской, Астраханской областях и Краснодарском крае [2].

Библиографический список

1. [Электронный ресурс] <https://rosatomnewsletter.com/ru/2024/04/25/smr-prospects/> (дата обращения 28.01.2025)
2. [Электронный ресурс] <https://news.rambler.ru/community/52051140-pereboi-s-energoenergiy-voznikli-vo-mnogih-regionah-tsentralnoy-rossii/> (дата обращения 28.01.2025)

*Р.П. Демьяненко, студ.; Д.О. Фомичев, асп.;
рук. В.А. Горбунов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ У ТВЭЛА С ОТВЕРСТИЕМ

Обычно, на вычисление температурных полей с учетом лучистого теплообмена в COMSOL Multiphysics уходит большое количество времени, которое можно сократить, используя понятие приведенного коэффициента теплопроводности.

Приведенный коэффициент теплопроводности учитывает лучистую, конвективную и кондуктивную составляющие теплообмена в пористых телах, что позволяет решать сложные задачи быстрее (например, с группой ТВЭЛов). Данный коэффициент можно получить на основе решения обратной задачи теплопроводности.

Рассмотрим вариант расчета ТВЭЛа, состоящего из уранового стержня диаметром 7,6 мм. В данной задаче мощность внутреннего источника энергии в стержне будет постепенно увеличиваться до тех пор, пока не достигнет значений, при которых температура будет равна температуре разрушения стержня.

Для сравнения рассмотрим аналогичный ТВЭЛ, но с центральным сквозным отверстием диаметром 2,3 мм, заполненным гелием. Предварительные расчеты показали, что конвективная составляющая внутри отверстия не будет оказывать значительного влияния на результаты, поэтому в дальнейших расчетах учитываться она не будет. Получается, что в отверстии будет учитываться теплообмен излучения прозрачного тела, в данном случае двухатомного газа (гелия).

Обе задачи решались в 3D постановке, с коэффициентом теплоотдачи на внешней оболочке ТВЭЛа равной $30000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

В результате решения обратной задачи получили, что приведенный коэффициент больше среднего за счет появления лучистого теплообмена в отверстии. Расчеты показали, что ТВЭЛ с отверстием, в сравнении с ТВЭЛом без отверстия, работает более надежно.

Библиографический список

- 1. Горбунов В.А.** Моделирование теплогидравлических процессов в ядерных реакторах в Comsol multiphysics
- 2. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС** [Электронный ресурс]. URL:<https://www.nttu.ru/frontend/web/ngtu/files/nauka/izdaniya/trudy/2024/03/048-061.pdf>

*Н.В. Медведкин, студ.; рук. Н.Н. Ярунина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РУ ВВЭР-1000 ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ МОЩНОСТИ НА 10%

Согласно концепции развития Концерна «Росэнергоатом», особое место занимает план перевода энергоблоков ВВЭР-1000 на работу с повышенной мощностью, поэтому данная тема является важной научно-технической задачей, которой в настоящее время занимается НЦ «Курчатовский институт», ВНИИАЭС и др.

В рамках решения этой задачи важно провести расчетные исследования и определить как увеличение мощности до 110 % $N_{ном}$ повлияет на теплогидравлические параметры работы оборудования первого контура (реактор, ГЦН, парогенератор-ПГ). С этой целью мною были проведены теплогидравлические расчеты активной зоны реактора при увеличении тепловой нагрузки на 10% выше номинальной с учетом изменения расхода циркуляционной воды 1-го контура.

В ходе расчетов выяснилось, что для обеспечения надежного температурного режима реактора с повышенной нагрузкой необходимо увеличить расход циркуляционной воды 1-го контура, что в свою очередь приведет к увеличению гидравлического сопротивления. В связи с этим требуется определить, смогут ли установленные циркуляционные насосы справиться с работой в режиме с увеличенным расходом и напором или потребуются их замена (модернизация).

Анализируя расход теплоносителя через реактор и его возможный запас, можно отметить, что для обеспечения теплотехнической надёжности активной зоны при проектировании РУ принимался расход теплоносителя по петле, равный 20000 м³/ч. Вместе с тем, реальные расходы теплоносителя на действующих энергоблоках ВВЭР-1000 могут существенно превышать принятую в проектных расчётах величину. Так, на блоках 1, 2, 4 Балаковской АЭС расход теплоносителя через активную зону реактора равен 88000, 87400, 86500 м³/ч соответственно.

Таким образом, имеется достаточно большой резерв для повышения установленных тепло-гидравлических параметров первого контура и повышения тепловой мощности реактора.

Выполненный анализ основных тепло-гидравлических параметров работы оборудования РУ энергоблоков ВВЭР-1000 на повышенной мощности показал, что подтверждается теплотехническая надёжность работы реакторной установки в условиях нормальной эксплуатации на мощности 110% номинального значения.

*Д.А. Бурдин, студ.; Рук. Н.Н. Яруниа, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ АЭС

Цель работы. Изучение мероприятий по повышению эффективности системы технического водоснабжения на АЭС и выявление их достоинств и недостатков.

Актуальность данной темы. Для обеспечения безопасности, надежности и экономичности работы АЭС, а также снижения её воздействия на окружающую среду, необходимо повышать эффективность системы технического водоснабжения.

Мой личный вклад заключается в том, что я провёл анализ существующих проблем и потенциальных возможностей для повышения эффективности водоснабжения АЭС. Работа включает в себя оценку различных мероприятий, направленных на снижение потерь, повышения надежности и снижение энергопотребления системы.

Мероприятия по повышению эффективности систем технического водоснабжения АЭС можно классифицировать по трем направлениям:

1. Переход с прямого на обратное водоснабжение с применением современных высокоэффективных типов градирен («сухая» градирня и инжекционная);
2. Регулирование циркуляционных насосов технического водоснабжения при помощи ЧРП или изменение угла поворота лопастей;
3. Повышение эффективности работы конденсаторов.

Изучение данного анализа проводилось на базе различных интернет – источников и научной литературы.

По результатам работы можно сделать вывод, что повышение эффективности системы технического водоснабжения АЭС критически важно. Анализ выявляет перспективные направления оптимизации и позволит разработать рекомендации для их внедрения, что обеспечит устойчивое развитие и минимизацию воздействия на окружающую среду.

Библиографический список

1. Растунцова И.А., Шевченко Н.Ю. Оценка эффективности схем модернизации системы технического водоснабжения АЭС // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2015. - №9-4. С. 612-617;
2. Слободчук В.И., Шелегов А. С., Лескин С.Т. Основные системы энергоблоков АЭС. Учебное пособие по курсу АЭС. М.:МИФИ, 2010 – 215 с.

*А.А. Кузнецов, студ.; рук. А.И. Вальцева, к.т.н., доц.
(УрФУ, г. Екатеринбург)*

ОБЗОР ФУНКЦИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗАЩИТНОГО КОЛПАКА РЕАКТОРА БН–800

Защитный колпак реактора БН–800 является важным элементом безопасности, выполняющим защитную функцию. Колпак спроектирован с учетом опыта, полученного в ходе монтажа и эксплуатации защитного колпака реакторной установки (РУ) БН–600. Защитный колпак реактора предназначен для: защиты оборудования реактора, размещенного на поворотных пробках, в том числе исполнительных механизмов системы управления и защиты (ИМ СУЗ), обеспечения подвода охлаждающего воздуха к оборудованию реактора, расположенного под защитным колпаком, создания режимной зоны, организации отвода охлаждающего воздуха от главных циркуляционных насосов первого контура (ГЦН–1), размещения вспомогательного технологического оборудования. Защитный колпак является пассивным устройством, функция безопасности заключается в организации направленного отвода из–под защитного колпака в систему спецвентиляции возможных радиоактивных выбросов из оборудования и механизмов, размещенных на поворотных пробках и связанных с газовой полостью реактора и из гидрозатворов поворотных пробок при их разгерметизации. Для обеспечения безопасности под колпаком осуществляется контроль, давления радиационной обстановки, также устанавливаются средства пожарообнаружения и пожаротушения. Колпак рассчитан на сочетание двух типов нагрузок: нагрузки нормальной эксплуатации в соответствии с технической характеристикой и в сочетании с сейсмическим воздействием (сохраняет работоспособность при после сейсмического воздействия силой МРЗ (7 баллов по шкале MSK-64)). В качестве основного материала при изготовлении элементов защитного колпака применена сталь 3 по ГОСТ 380–88. В качестве уплотняющего материала применены маслобензостойкая резина и губчатая резина. Перед пуском реакторной установки после монтажа визуально проверяется плотность закрытия дверей, люков, проходов, состояние уплотнителей и плотность их прилегания к уплотняемым поверхностям, надежная затяжка болтовых соединений [1].

Библиографический список

1. Зорин В.М. Атомные электростанции [Текст]: учебное пособие для вузов / В.М. Зорин. – М.: МЭИ, 2012. – 672 с.

*К.А. Быков, студ.; А.В. Колеганов, асп.;
рук. В.А. Горбунов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Одной из актуальных задач в современной науке является разработка и внедрение нейросетевых технологий на производство. В соответствии с указом президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» утверждена национальная стратегия развития искусственного интеллекта (ИИ) в области научно-технического развития до 2030 года. Использование нейросетевых технологий повышает безопасность станций, снижает затраты на производство электроэнергии. Одним из возможных применений ИИ на производстве, направленным на повышение безопасности станций, является создание цифрового двойника атомной электростанции (АЭС).

Цифровой двойник АЭС – цифровая модель оборудования, систем и процессов атомной электростанции на разных стадиях цикла, направленная на облегчение процесса прогнозирования, проведение испытаний и выявления аномальных работ оборудования.

В 2021 году началось внедрение модели предиктивной аналитики для турбогенератора, паротурбинной установки и циркуляционных насосов энергоблока №6 Нововоронежской АЭС. Программа способна обнаружить скрытые дефекты в работе оборудования, прогнозировать его работу на 30 минут вперед, что позволяет снизить вероятность внеплановых остановов.

В отличие от существующих систем мониторинга, разработанная модель использует архивные данные из стековой памяти автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) АЭС. На основе этих данных с применением нейросетевой технологии, программа способна прогнозировать состояние оборудования и шансы его выхода из строя в будущем, усовершенствовать его работу, избежать раннего вывода в ремонт, тем самым повысить коэффициент использования установленной мощности и безопасность станции.

Библиографический список

1. Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».
2. [Электронный ресурс]. URL: https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-novovoronezhskoy-aes/press-tsentr/novosti/41101/

*А.В. Колеганов, асп.; рук. В.А. Горбунов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЦН РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК С ВВЭР

Правительство РФ распоряжением от 30 декабря 2024 г. №4153-р утвердило Генеральную схему размещения объектов электроэнергетики до 2042 года. В соответствии со схемой к 2042 году будут введены в действие 26 новых энергоблоков на основе реакторных установок (РУ) с водо-водяными реакторами. В связи с этим, возрастает актуальность исследования влияния различных факторов на эффективность эксплуатации агрегатов таких РУ.

РУ с ВВЭР включают в себя главные циркуляционные насосы (далее – ГЦН) типов ГЦН-195М, ГЦНА-1713 и ГЦНА-1391. Из множества параметров, контролируемых АСУ ТП, важно выделить параметры с наибольшим влиянием на эффективность работы насосов.

Например, при эксплуатации маслосистемы ГЦН важно поддерживать класс чистоты масла, указывающий на содержание примесей, не ниже 11. Существуют также ограничения по температуре масла – не более 50 °С, иначе снижается вязкость масла, истончается масляный клин подшипников ГЦН. Стоит отметить, что модели ГЦНА-1713 и ГЦНА-1391 имеют менее разветвленную маслосистему, чем у ГЦН-195М, однако установки с ГЦН-195М будут эксплуатироваться вплоть до 2060 года.

Для охлаждения обмоток двигателя и охлаждения масла подается техническая вода. Вода подается из водоема-охладителя, температура в котором зависит от времени года, и персонал обязан производить сезонное регулирование расходов на все ГЦН. Помимо температуры воды, на охлаждение также влияет ее качество.

Так как ГЦН находятся в необслуживаемой большую часть времени герметичной оболочке, важно следить за показаниями системы технической диагностики (СТД). Система измеряет такие параметры, как: расход теплоносителя первого контура, давление до и после насоса, температура масла, расход охлаждающей воды, число оборотов двигателя, средне-квадратичная скорость вибрации подшипников. Влияние изменения вышеописанных параметров на работу ГЦН выражено неявно. Эти параметры в разной степени характеризуют эффективность работы насосов, и кластерный анализ позволяет выявить степень их влияния.

Библиографический список

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30.12.2024 № 4153-р

*А.Д. Кашина, студ., Соенко Д.Г., асп.; рук. А.А. Беляков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДЫ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ SIMINTECH ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Среда динамического моделирования SimInTech обладает широкими возможностями по организации вычислений, связанных с решением дифференциальных уравнений. Расчетные математические модели в SimInTech создаются посредством функционально-блочного программирования при помощи блоков, содержащихся в различных библиотеках [1].

Один из таких блоков — Теплогидравлика (HS). Блок предназначен для моделирования гидравлических и тепловых процессов. С его помощью можно рассчитать изменения и потери давления, температуры, расхода и других параметров в системе. Таким образом, SimInTech предоставляет возможности для решения нестационарных краевых теплогидравлических задач (теплопроводность, гидродинамика и др.).

В работе рассмотрено решение задач 1.66 и 1.67 из задачника по теплопередаче Е.А. Краснощекова [2]. При помощи блока Теплогидравлика (HS) в среде динамического моделирования SimInTech производится расчёт распределения температуры в поперечном сечении твэла с учётом исходных заданных параметров.

В программной среде предусмотрена возможность визуализации процессов теплообмена посредством вывода графиков, диаграмм и других визуальных элементов. Применение графической визуализации способствует более глубокому пониманию теплогидравлических процессов и освоению их практического применения. Использование SimInTech способствует развитию навыков моделирования и анализа сложных систем.

Таким образом, внедрение среды динамического моделирования SimInTech может стать ценным ресурсом для студентов, изучающих теплогидравлику.

Библиографический список

1. Учебные пошаговые инструкции по работе с программным обеспечением SimInTech. - ч. 1. изд. - ООО «ЗВ Сервис», 2023. - 113 с.
2. Задачник по теплопередаче: учебное пособие для вузов / Е. А. Краснощеков, А. С. Сукомел. - 4-е изд., перераб. - Москва : Энергия, 1980. - 288 с.

*А.Д. Кашина, студ., И.И. Черняева; рук. А.А. Беляков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИВЛЕЧЕНИЕ СТУДЕНТОВ К СОЗДАНИЮ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В СРЕДЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ SIMINTECH

SimInTech — это инструмент для моделирования и анализа динамических систем, который может применяться в различных областях, включая теплотехнику и гидравлику [1].

Для обеспечения безопасности и эффективности работы энергетических объектов необходимо использовать передовые методы обучения и тренировки персонала. В связи с этим разработка и внедрение компьютерных тренажёрных установок становятся всё более актуальными. Моделирование позволяет избежать дорогостоящих ошибок и оптимизировать рабочие процессы, что приводит к снижению затрат и повышению эффективности установок.

Данная работа посвящена созданию модели тренажёрной установки Смоленского филиала АО "Атомтехэнерго" в SimInTech. Студенты ИГЭУ в составе группы осуществили выезд на объект с целью проведения замеров, необходимых для анализа функционирования тренажёрной установки. Данные взяты из предоставленной технической документации и произведенных в ходе пребывания в г. Десногорск замеров оборудования и элементов трубопроводов.

На основе полученных данных была создана модель, соответствующая текущему состоянию тренажёра и отражающая его реальные характеристики: длины и диаметры трубопроводов, высотные отметки, параметры ключевого оборудования, а именно бака и насосов.

Привлечение студенческих групп к выполнению реальных производственных задач может способствовать ранней профориентации и получению необходимых для будущей работы навыков, а также быстрому вовлечению молодых сотрудников в рабочий процесс. Выездная часть работ позволила провести обследования и замеры непосредственно на объекте моделирования, что является уникальным среди большинства студенческих проектов

Библиографический список

1. Учебные пошаговые инструкции по работе с программным обеспечением SimInTech. - ч. 1. изд. - ООО «ЗВ Сервис», 2023. - 113 с.

*А.Д. Кашина, студ.; рук. А.А. Беляков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТУРА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ БАСЕЙНА ВЫДЕРЖКИ КАЛИНИНСКОЙ АЭС В СРЕДЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ SIMINTECH

Для обеспечения отвода остаточных тепловыделений, обусловленных активностью продуктов деления, предусматривается продолжительная выдержка отработавшего топлива в бассейнах при АЭС. Охлаждение бассейна выдержки (далее – БВ) осуществляется технической водой промконтура. Наличие дополнительной системы обусловлено недопустимостью попадания активной воды БВ в воду озера, т.е. в окружающую среду.

Среда SimInTech является подходящим инструментом для моделирования системы промконтура охлаждения БВ, так как программа позволяет создавать достаточно точные модели теплогидравлических систем. В программе также предусмотрена возможность визуализации значений параметров путем вывода графиков и таблиц, что облегчает восприятие и дает возможность увидеть динамику изменения показателей.

Перед началом создания модели производился сбор и анализ данных о физических и эксплуатационных характеристиках системы. Затем на основе этих данных в SimInTech создавались виртуальные модели компонентов системы (насосов, баков, теплообменников). В ходе выполнения данной работы была создана и протестирована модель, проведен анализ полученных результатов и внесены необходимые корректировки для достижения реалистичности симуляции.

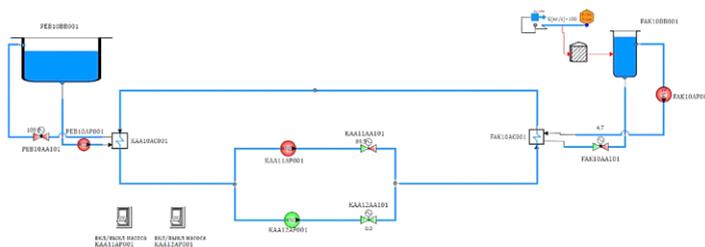


Рис 1. Скриншот модели системы промежуточного контура системы охлаждения бассейна выдержки КАА10

*С. Уста, асп.; рук. Н.В. Коровкин, д.т.н., проф.
(СПбПУ, г. Санкт-Петербург)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СИМВОЛИЧЕСКОЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ БЫСТРОЙ ДИАГНОСТИКИ АВАРИЙ С ПОТЕРЕЙ ПОТОКА В ГОРЯЧЕМ КАНАЛЕ ВВЭР-1000

Актуальность проблемы заключается в том, что быстрые и незащищенные аварии с потерей потока, происходят за очень короткое время без возможности аварийного отключения, все еще нуждаются в исследовании [1]. Новизна исследования заключается в разработке переходных связей на основе метода символической регрессии между двумя эксплуатационными параметрами (температурой и массовым расходом) в этих авариях.

В данной работе моделирование аварии выполнялось на основе подхода с одним горячим каналом путем решения уравнения масса-импульс-энергия (на Fortran) [2]. А затем для диагностики аварии использовался алгоритм символической регрессии, извлекающий математические модели (на Python) [3]. Чтобы создать набор данных, в каждом прогоне массовый расход системы уменьшался на 3% со 100% до 31% в интервале от 0 до 1,5 секунд и увеличивался на 0,05. После всех был получен большой объем данных термодинамических. Но температура на выходе легко измеряется, и это самый значимый параметр с точки зрения энергии. Поэтому требуемый набор данных для обучения алгоритма основан на температуре.

Окончательно, демонстрируются безразмерные корреляции между температурой на выходе и массовым расходом. С помощью двух различных метрик погрешности было установлено, что точность прогнозируемых значений массового расхода очень высока. В заключение, с помощью этого метода информация может быть предоставлена операторам за очень короткое время, например, за 2 секунды, что позволит им предотвратить серьезные аварии.

Библиографический список

- 1. Chang D, Liu M, Lee Y.** Accident diagnosis of a PWR fuel pin during unprotected loss of flow accident with support vector machine. Nuclear Engineering and Design. 2019. 352.110184.
- 2. Al-Yahia OS, Chae H, Jo D.** Transient thermal hydraulic analysis during LOFA. Annals of Nuclear Energy. 2013.62.144-52.
- 3. Alaoui Abdellaoui I, Mehrkanoon S.** Symbolic regression for scientific discovery: an application to wind speed forecasting 2021.

*И.И. Черняева, А.Д. Кашина, студ.; рук. М.Н. Мечтаева, ст.пр.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Наиболее экономичное использование ядерного топлива достигается при применении его на атомных ТЭЦ, однако в ряде случаев экономически оправдано использование атомных станций теплоснабжения. Назначение АСТ – выработка тепла для коммунально-бытовых и хозяйственных нужд. Целесообразность строительства АСТ определяется следующими факторами:

- существенное облегчение условий по выбору строительных площадок для АСТ, не требующих водных ресурсов и дополнительных капиталовложений на сооружение систем технического водоснабжения;

- большая радиационная безопасность АСТ по сравнению с АТЭЦ, что позволяет размещать их на незначительном расстоянии от потребителя тепла;

- близкое расположение АСТ позволяет избежать значительных потерь тепла при транспортировке теплоносителя, сократить затраты на прокачку теплоносителя;

- относительно малая величина требуемых площадок, меньшее загрязнение окружающей среды вредными выбросами при нормальных и аварийных режимах эксплуатации [1].

Особое место занимает проблема устойчивости по отношению к ошибкам эксплуатационного персонала. Предотвращение недопустимого развития аварий при выбранном составе оборудования достигнуто использованием защитных средств, выполняющих свои функции независимо от действий персонала, готовности внешнего источника энергии и других условий [2].

Строительство АСТ наиболее целесообразно вблизи крупных городов, являющихся потребителями большого количества тепловой энергии для хозяйственно-бытовых и промышленных нужд.

Библиографический список

1. Атомные станции теплоснабжения: учеб. пособие / Сост.: В.Н. Мелькумов, С.В. Чуйкин, А.И. Колосов, Е.В. Плаксина; Воронежский ГАСУ. – Воронеж, 2016. – 62 с.
2. Митенков, Ф. М. Атомные станции теплоснабжения – новый этап развития атомных станций в СССР [Текст] / Ф. М. Митенков // Журнал «Теплоэнергетика». — 1990. — № 8. — С. 12-17.].

*И.И. Черняева, А.А. Лукьянов, студ.; рук. М.Н. Мечтаева, ст.пр.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АТОМНЫЕ СТАНЦИИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СВЕРХМАЛОЙ МОЩНОСТИ GHR

Высокотемпературные гелиевые реакторы являются эффективным решением по обеспечению теплоснабжения энергоемких производств.

В реакторе GHR нисходящий поток газа пропускается через шаровую засыпку активной зоны, далее газ движется между нижней тепловой защитой и нижним отражателем и поступает в кольцевую полость между лайнером и боковой тепловой защитой. Шаровая засыпка активной зоны неподвижна. Загрузка реактора GHR рассчитана на непрерывную работу в течение 14 лет. Для такого реактора характерен отрицательный коэффициент реактивности [1].

Применение гелия в качестве теплоносителя в реакторе связано с наличием ряда инженерных проблем. В числе первых – обеспечение работоспособности конструкционных материалов в гелиевой атмосфере при высоких температурах. Опыт действовавших реакторов показал, что системы очистки гелия способны поддерживать окислительно-восстановительный потенциал гелиевой атмосферы на требуемом уровне [2].

Остаточное тепло реактора в проекте GHR может отводиться несколькими способами:

- естественной конвекцией;
- основной системой теплосъема через промежуточный контур в систему теплоснабжения;
- двухпетлевой системой отвода остаточного тепла.

Высокий уровень безопасности АСТ достигается широким использованием пассивных систем, снижением единичной мощности блока и значительным уменьшением энергонапряженности активной зоны (2 МВт/м³). По проектным оценкам выброс продуктов выше допустимого предела невозможен даже в случае гипотетических аварий.

Библиографический список

1. Применение атомных источников тепла для целей теплофикации [Текст] : монография / П. Хиновска. - София : Центр науч.-техн. информ., 1988. - 53 с.
2. Машиностроение. Машиностроение ядерной техники, кн. 1 [в 2 кн.] / ред. тома д.т.н. Е.О. Адамов; ред.-сост. д.т.н. В.И. Солонин, отв. ред. академ. РАН К.С. Колесников. — 2005. — 959 с.

*И.И. Черняева, студ.; рук. М.Н. Мечтаева, ст.пр.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНЫХ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ

Атомные теплоэлектроцентрали (АТЭЦ) с реакторами повышенной безопасности – это энергоисточники с широким спектром применения.

Энергоблоки АТЭЦ могут быть использованы для комбинированной выработки электроэнергии и тепла, опреснения морской воды, промышленного тепло- и пароснабжения предприятий химической, нефтехимической, целлюлозно-бумажной, пищевой и другой теплоемкой промышленности. Схемные решения позволяют производить отпуск тепла и электроэнергии в различных соотношениях в зависимости от характеристик потребителей и экономически обоснованных соотношений нагрузок для конкретного региона размещения [1].

Низкая топливная составляющая себестоимости электроэнергии и тепла, высокая радиационная безопасность, малый объем отходов доказывают предпочтительность экономических и экологических характеристик АТЭЦ по сравнению с энергоисточниками на органическом топливе.

В настоящее время в ведущих в области атомной энергетики странах разрабатывается большое количество проектов подобных электростанций с применением различных типов реакторов. Возросший интерес к подобным электростанциям объясняется их повышенной безопасностью, модульным принципом сооружения, возможностью расположения в относительной близости от крупных населенных пунктов и промышленных центров, финансовой доступностью для частных инвесторов или небольших стран [2].

Однако исследования, позволяющие оценить конкурентоспособность АТЭЦ по сравнению с другими источниками энергоснабжения, практически отсутствуют и по сей день. Особенно недостает исследований по оценке эффективности их использования для комбинированного тепло- и электроснабжения населенных пунктов.

Библиографический список

1. Информационный бюллетень. — 1992. — № 5. — 88 с.
2. Макарова, А. С. Перспективы атомной теплофикации на основе энергоблоков мощностью до 100 МВт / А. С. Макарова, А. А. Хоршев, Е. И. Шаров// – 2014. т.117 вып. 1 – С. 10-14

*И.И. Черняева, студ.; рук. М.Н. Мечтаева, ст.пр.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

БЕЗОПАСНОСТЬ АТОМНЫХ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ

Предотвращение выхода радиоактивных продуктов из первого контура в контур сетевой воды, связывающей АТЭЦ с потребителями тепла, обеспечено:

1) использованием промежуточного контура (второй контур) в цепи передачи тепла от реактора к потребителю;

2) герметичностью теплообменных поверхностей (2 барьера), разделяющих первый контур и контур сетевой воды;

3) наличием барьера по давлению со стороны контура сетевой воды по отношению к греющей среде второго контура;

4) надежностью удержания радиоактивных продуктов в пределах герметичного ограждения, которая обеспечена:

- разделением функций по восприятию внешних (природных и техногенных) и внутренних аварийных воздействий внешней и внутренней защитными оболочками;

- поддержанием разрежения в межоболочечном пространстве при нормальной эксплуатации, очисткой вентилируемого воздуха на фильтрах;

- пассивными системами, ограничивающими аварийные параметры среды внутри защитной оболочки при разгерметизации первого или второго контуров.

Сохранение эффективности защитных барьеров в аварийных условиях достигается главным образом за счет свойств внутренней самозащищенности реактора на основе отрицательных обратных связей, аккумулирующей способности первого контура, исключения класса аварий с большими и средними течами, а также использования пассивных систем безопасности [1].

Использование одного блока АТЭЦ позволяет исключить выбросы 300 000 тонн углекислого газа в год и сохранить ежегодно около 700 млн. м³ кислорода воздуха в год.

Библиографический список

1. Новиков В. В. Атомная тепловая электростанция с реактором ВВЭР-300. Использование пассивных систем для безопасности АТЭЦ / В. В. Новиков, Д. Ю. Юрков, А. К. Поляков // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. — 2005. — Т. 308, № 4. — С. 81-85.

*Д.А. Родионова, студ.; рук. С.Г. Андрианов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МЕТОДЫ БОРЬБЫ С БИОПОМЕХАМИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Промышленное водяное охлаждение, необходимое для поддержания температурного режима во многих отраслях, особенно в энергетике, а также играет важную роль в производственных процессах. Системы водоснабжения этих предприятий являются антропогенными субстратами, подверженными биоповреждениям.

Биопомехи, вызванные жизнедеятельностью организмов, нарушают работу технических устройств, в частности, в системах технического водоснабжения (СТВ) АЭС, где обрастание водоводов затрудняет отвод тепла. Развитие биообрастаний обусловлено поступлением сестона, содержащего личинки организмов-обрастателей (например, дрейссены) и пищу для них. Уменьшение количества сестона в СТВ является ключевым фактором снижения интенсивности биопомех, что делает актуальной задачу поиска эффективных методов борьбы с ними.

В данной работе предметом исследования является система прямо-точного водоснабжения ЛАЭС-1, которая подвергается биологическим обрастаниям.

Трубопроводы водоснабжения благоприятны для развития морских организмов, обрастание которых приводит к снижению эффективности систем. Обрастание теплообменников снижает теплопередачу, эффективность охлаждения, увеличивает износ и эксплуатационные расходы. Для борьбы с этой проблемой необходима защита от обрастания, учитывающая факторы, влияющие на биологическую активность.

Одним из эффективных методов борьбы с биопомехами, обеспечивающим надёжную работу и безопасность АЭС, является флотационная защита СТВ. Этот комплекс мер включает в себя флотационные установки, удаляющие загрязняющие вещества путём всплытия с помощью пузырьков воздуха. Регулярный мониторинг, анализ воды, модернизация и обслуживание оборудования – ключевые аспекты флотационной защиты. Внедрение этой технологии способствует охране окружающей среды и повышению надёжности АЭС, обеспечивая соответствие стандартам безопасности и устойчивости [1].

Библиографический список

1. Минин, Д.В. Флотационная защита систем технического водоснабжения АЭС от биологических помех : автореф. ... кан. тех. наук : 22.00.36 / Д.В. Минин ; Москва, гос. строит. ун-т. – Москва., 2012. – 25 л.

*А.А. Хорев, студ.; рук. С.Г. Андрианов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ НАСОСОВ ОСНОВНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ НА ЛЕНИНГРАДСКОЙ АЭС-2

Система основной охлаждающей воды предназначена для отвода тепла пара в конденсаторе турбины – система обеспечивает конденсацию отработанного в турбине пара с требуемой величиной вакуума.

В период ввода в эксплуатацию энергоблока №1 Ленинградской АЭС-2 проводился этап пусконаладочных работ - опробывание (первое включение) насосного агрегата основной системы охлаждающей воды, в результате которого были выявлены нарушения в работе циркуляционных насосов ДВН 12,5-29-1600, таких как повышенная вибрация на подшипниковом узле, а также несовпадение фактической напорной характеристики с техническим заданием (ТЗ).[1]

В результате была выполнена модернизация, связанная с доработками насосных агрегатов, таких как: увеличение зазора между рабочим колесом и выправляющим аппаратом, повышение жесткости корпуса за счёт его дополнительного бетонирования, а также раскрепление корпуса. Ситуацию с превышением вибрации удалось исправить, однако фактическая напорная характеристика все так же не удовлетворяла требованиям ТЗ. Данные отклонения непосредственно влияли на снижение мощности энергоблока и показателя КИУМ. Поэтому предлагается замена насосов охлаждающей воды на ближайший аналог. Таковым является венгерский насос BvDC 1600, применение которого позволит повысить надежность работы системы основной охлаждающей воды, обеспечить необходимый вакуум в конденсаторе и должную напорную характеристику насоса. Срок окупаемости модернизации составит 1,7 года.

Проведение предложенной модернизации приведет к повышению мощности турбоустановки более чем на 10 МВт, а также безопасности, надежности и энергоэффективности на всех режимах эксплуатации энергоблока.

Библиографический список

1. Протокол пусконаладочных работ (испытаний). Опробование (первое включение) насосного агрегата основной системы охлаждающей воды. – Сосновый Бор: Ленинградская АЭС.

*А.А. Лукьянов, студ.; рук. С.Г. Андрианов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

**РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ
ТЕПЛООБМЕННИКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ НА
ПРИМЕРЕ СТВ ВТОРОЙ ОЧЕРЕДИ
ЛЕНИНГРАДСКОЙ АЭС**

Основными параметрами, влияющими на эффективность работы теплообменных аппаратов, являются температура охлаждающей (технической) воды и чистота поверхностей теплообмена. Температура технической воды является сезонным фактором и варьируется в широких пределах. Основной причиной загрязнения поверхностей теплообмена являются отложения, оседающие на стенках труб, трубных досках и других внутренних поверхностях теплообменников.

В данной работе рассматривается система промежуточного контура №1 (ПК-1) и система контура охлаждения системы управления и защиты (КО СУЗ) третьего и четвертого блоков Ленинградской АЭС. Теплоноситель КО СУЗ забирает тепло от органов управления и защиты и отдает его теплоносителю ПК-1. Вода промконтура охлаждается технической водой в теплообменниках типа ТНГ.

Теплообменники 1400 ТНГ-1-10-6МТ20/25-5-1 (титановые, кожухотрубные, горизонтальные, одноходовые по охлаждающей воде, противоточные с сегментными перегородками) предназначены для отвода тепла от потребителей к охлаждающей воде (морской воде из Финского залива). При охлаждении морской водой происходит загрязнение водорослями и моллюсками, которые размножаются в теплой воде и отрицательно влияют на качество теплообмена. Поэтому теплообменники нуждаются в периодической чистке.

Работа этих систем крайне важна для нормальной и безопасной эксплуатации энергоблока, поэтому необходима эффективная организация теплообмена в теплообменных аппаратах этих контуров. При недостаточно низкой температуре охлаждающей воды и наличии загрязнений процесс охлаждения будет идти менее интенсивно, что может привести к аварии и останову энергоблока.

Цели работы: расчет параметров, соответствующих незагрязненному теплообменнику, определение критериев вывода теплообменников в чистку, определение зависимости параметров сред контуров от текущей конфигурации системы (количества работающих теплообменников и насосов) и температуры охлаждающей воды.

*А.Н. Воронов, М.Ю. Угаров студ.; рук. А.Г. Ильченко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ JNG ПАССИВНОЙ ЧАСТИ САОЗ ДЛЯ ЭНЕРГОБЛОКОВ С РЕАКТОРАМИ ВВЭР-ТОИ И ВВЭР-1200

Система JNG пассивной части САОЗ предназначена для подачи в реактор раствора борной кислоты при авариях с потерей теплоносителя. Она включается в работу при снижении давления в первом контуре ниже 5,9 МПа и обеспечивает расход, достаточный для охлаждения АЗ до моментов подключения насосов низкого давления системы JNA или подачи раствора борной кислоты от системы GE-2, GE-3 в авариях с потерей теплоносителя.

Система GE-2, GE-3 (гидроемкостей 2-й и 3-й ступени) срабатывает пассивным образом и предназначена для выполнения следующих функций:

- подача борного раствора от GE-2 для поддержания уровня теплоносителя в АЗ при авариях с потерей теплоносителя при падении давления в первом контуре ниже 1,5 МПа;

- подача борного раствора от GE-3 для поддержания уровня теплоносителя в АЗ при запроектных авариях с течами первого контура после исчерпания запаса борного раствора в GE-2;

- подача борного раствора для подпитки бассейна выдержки при запроектных авариях в стояночных режимах.

В проекте Курской АЭС-2 с РУ ВВЭР-ТОИ предусмотрена система GE-2 для обеспечения охлаждения АЗ при проектных авариях в течение 24 часов с момента возникновения аварии с потерей теплоносителя, а также система GE-3, используемая при запроектных авариях на интервале времени от 24 до 72 часов с момента аварии.

В проекте Нововоронежской АЭС-2 с РУ ВВЭР-1200 предусмотрена только система GE-2 для обеспечения охлаждения АЗ при проектных авариях в течение 24 ч. с момента возникновения аварии с потерей теплоносителя, а в проекте Ленинградской АЭС-2 с РУ ВВЭР-1200 системы гидроемкостей низкого давления не предусмотрены. Там используется система аварийного впрыска низкого давления JNG.

Система JNG поддерживает РУ в безопасном состоянии в аварийных режимах, осуществляя подпитку активной зоны и отвод тепла совместно с пассивной системой отвода тепла (СПОТ).

Проект системы GE-2, GE-3 (пассивная часть САОЗ) обеспечивает безопасную эксплуатацию энергоблока в течение дополнительного времени в режимах проектных и запроектных аварий.

*Д.С. Рычихин, Н.В. Фролов, студ.; рук. А.Г. Ильченко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МАСЛОСНАБЖЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРА 3 ЭНЕРГОБЛОКА КАЛИНИНСКОЙ АЭС

При эксплуатации турбоустановки энергоблоков АЭС особое значение имеет вопрос повышения надежности ее работы, так как это напрямую влияет на экономические характеристики энергоблока АЭС. Особую роль в обеспечении надежной работы турбоустановки играет маслосистема, которая подает масло к подшипникам турбины для смазки подшипников и уменьшения трения. В случае нарушения в работе маслосистемы может возникнуть повышенная температура масла, баббита, подшипника, увеличивается износ шейки вала и, как следствие, вибрации выше предельных. Это все приводит к увеличению продолжительности ремонта и уменьшению выработки электроэнергии.

В течение эксплуатации ТГ 3 блока Калининской АЭС. С 2022 года после проведенных ремонтных работ наблюдаются проблемы с охлаждением масла, которое подается на подшипники. Это было связано с неудачно спроектированными маслоохладителями, которые в данный момент установлены в системе. В частности, неверно спроектирована трубная часть, из-за чего масло неравномерно распределяется по поверхности теплообмена. И, как следствие, температура масла превышает допустимую на 5-10 °С.

В ходе данной работы для улучшения теплообмена двух сред – масла и воды и для понижения температуры на общей линии подвода масла к подшипникам турбогенератора турбины К-1000-3000 было проведено расчетное обоснование модернизации маслоохладителей МП300-500 для 3 блока Калининской АЭС.

С этой целью были проведены гидравлический и тепловой расчеты маслоохладителей как старого (МП300-330) типа, так и нового типа (МП-300-500).

Исходя из анализа результатов проведенных расчетов был предложен вариант модернизации теплообменного оборудования за счет изменения трубного пространства и увеличения диаметра трубного оребрения. Проведенные расчеты модернизированного маслоохладителя явились основой для разработки технического задания на модернизацию, которая предполагается к реализации в ППР-2025 на 3 энергоблоке Калининской АЭС.

*Н.В. Зубов, асп; рук. М.А. Вольман, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТВС В КАНАЛЬНЫХ РЕАКТОРАХ ТИПА РБМК

Особенности эксплуатации ТВС в канальных реакторах типа РБМК связаны с кипящим режимом теплоносителя, перегрузкой ТВС на мощности во время работы реактора с конструкцией и функционированием реактора. В КМПЦ теплоносителя поддерживается бескоррекционный ВХР. В пусковой период наблюдается увеличение концентрации продуктов коррозии железа и меди в реакторной воде. Увеличение коррозионной активности среды и осаждение продуктов коррозии на твэлах приводит к развитию локальной коррозии, образованию дефектов (питтингов) вплоть до сквозных. Повышенные коррозионные отложения могут привести к нарушению теплового режима оболочек твэлов, что приводит к дальнейшему концентрированию примесей и росту отложений. В результате толщина оксидной пленки на оболочках твэлов РБМК может достигать 200 мкм, в то время как для реакторов ВВЭР 3 мкм. Наличие разрыва в середине ТВС предъявляет повышенные требования к качеству сварки ввиду повышенного энерговыделения в центре активной зоны. Принята следующая классификация дефектов: газовая неплотность, микротрещина, макротрещина, прямой контакт топлива с теплоносителем. Дефекты по механизмам возникновения делят на первичные и вторичные. Наиболее вероятный первичный дефект-коррозионное растрескивание оболочек под воздействием I на Zr, зависящее от выгорания топлива, мощности. Последующая разгерметизация твэла происходит из-за механического стирания оболочки под воздействием мелких частиц (дебриз-эффект) либо вибрации твэла (фреттинг-износ). Вторичные дефекты развиваются под действием теплоносителя, попадающего внутрь твэла через первичный дефект: хрупкий отрыв заглушки, образование крупных визуально регистрируемых дефектов. В настоящий момент явный отказ ТВС вызван чаще всего дебриз-эффектом или вторичным эффектом развившимся из первичного.

Библиографический список

1. **Крицкий В.Г.** Проблемы коррозии и водно-химических режимов АЭС. С.-Пб.: СИНТО, 1996, 264 с.

*Н.В. Zubov, асп.; рук. М.А. Вольман, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ В РОССИИ ОДНОКОНТУРНЫХ АЭС С КАНАЛЬНЫМИ РЕАКТОРАМИ

Развитие отечественной ядерной энергетики базировалось на двух типах реакторов: канальных и корпусных. Первые во многом обеспечили стране ядерный щит и значительные темпы развития атомной энергетики. Также канальные реакторы использовались как на первой в мире Обнинской АЭС, так и на первой советской АТЭЦ. С помощью канальных реакторов в СССР была достигнута мощность энергоблока АЭС в 1500 МВт. Имелись разработки проектов энергоблоков с реакторами РБМК электрической мощностью 2000 и 2400 МВт. В настоящее время в России на канальных реакторах нарабатывается около 30% мирового рынка стерилизационного кобальта-60, легированного кремния, потребностей ядерной медицины. И хотя причины аварии на ЧАЭС изучены и установлены - конструкторская недоработка и, главное, некомпетентные действия эксплуатационного персонала, какие-либо работы с этим реактором на перспективу в РФ прекращены [1]. После 2040 году все графитовые реакторы в России будут выведены из эксплуатации. В этой ситуации исследовательский реактор МБИР не сможет скомпенсировать выводимые мощности по наработке изотопов. С учетом прогнозного состояния спроса на наработку изотопов в РФ после 2040 года, существует предпосылка возвращения к рассмотрению концепции многоцелевого канального энергетического реактора (МКЭР) нового поколения. Проекты с реакторами типа МКЭР (800,1000,1350,1500) разработаны в виде моноблоков как автоматизированные технологические комплексы, предназначенные для безопасного и экономически эффективного производства электроэнергии, тепла, изотопной продукции и модификации материалов. Разработка проектов типа МКЭР велась, главным образом, применительно к площадке Ленинградской АЭС.

Библиографический список

1. **Зорин В.М. Н.Д.** Атомные электростанции: учебное пособие/ В.М. Зорин-М.: Издательский дом МЭИ, 2012.-672 с.

*Н.В. Фролов, Е.Д. Сапрыкина, А.А. Вихрева, студ.;
рук. А.Г. Ильченко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕАКТОРНЫЕ УСТАНОВКИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

К атомным станциям малой мощности относят реакторы с эквивалентной электрической мощностью менее 300 МВт, имеющие высокую степень заводской готовности, позволяющую транспортировать реакторные модули заводской сборки или даже всю станцию баржами, по железной дороге или грузовым транспортом.

Такие проекты разрабатываются и внедряются в Российской Федерации с целью обеспечения надежного энергоснабжения малых региональных энергосистем, расположенных в удаленных и труднодоступных районах страны. Для данных территорий характерны экстремальные климатические условия и наличие затрудненных транспортных путей, обеспечивающих связь с центральной частью страны, которые доступны только на протяжении короткого сезона в течение года.

Отдаленные районы Севера и Дальнего Востока являются перспективными рынками для АСММ. Российские проекты АСММ во многом опираются на положительный опыт проектирования и эксплуатации атомного ледокольного флота.

Российская госкорпорация «Росатом» – один из мировых лидеров в области разработки и применения атомных станций малой мощности. Высокую степень готовности, которая характеризуется наличием конструкторской документации, производственной и эксплуатационной инфраструктуры, референтности технических решений, имеют РУ КЛТ-40С, Шельф, АБВ-6Э, РИТМ-200Н. Основные характеристики РУ представлены в таблице.

Таблица – Основные характеристики РУ АСММ

Название РУ	КЛТ-40С	«Шельф»	АБВ-6Э	РИТМ-200Н
Тип ПГБ	модульный	интегр.	интегр.	интегр.
Тепловая мощность, МВт	2х150	28	2х38	2х190
Электрическая мощность, МВт	2х38,5	6	2х9	2х55
Интервал перегрузки топлива, лет	3	6	12	5-6
Исполнение	плав.	погруж.	плав. или назем.	назем.
Срок службы, лет	40	60	60	60
Срок сооружения, лет	3,5	3	4,5	4,5

Н.В. Фролов, Е.Д. Сапрыкина, А.А. Вихрева, студ.;
рук. А.Г. Ильченко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА АСММ С РУ РИТМ-200Н

Энергоблоки АСММ с реакторной установкой РИТМ-200Н предполагаются к сооружению в районе поселка Усть-Куйга, Республика Саха (Якутия). Необходимость строительства АСММ в поселке Усть-Куйга продиктовано реализацией перспективного проекта по освоению золоторудного месторождения Кючус в Усть-Янском и Верхоянском районах Якутии и создания необходимой инфраструктуры. АЭС заменит действующие дизельные электростанции, что позволит снизить тарифы на электроэнергию в два раза и улучшить экологическую обстановку в Усть-Янском районе.

РУ РИТМ-200Н имеет кассетную активную зону на базе нового ураноемкого металлокерамического топлива UO_2 в силуминовой матрице с обогащением по U^{235} – 19,4 %. Оболочка ТВЭЛа выполнена из нового коррозионно-стойкого сплава 42ХНМ без содержания циркония, что позволяет исключить парциркуниевую реакцию.

В состав ЯППУ РИТМ-200Н входит вертикальный прямоточный парогенератор оригинальной конструкции, вырабатывающий 305т/ч перегретого пара с давлением 3,82 Мпа и температурой 295 °С.

Проведенные теплогидравлические и нейтронно-физические расчеты подтвердили основные проектные характеристики ЯППУ. Произведен расчет пассивной СПОТ и определены ее характеристики.

Поскольку данные по турбоустановке отсутствовали, была спроектирована новая двухцилиндровая паровая турбина ТК-60/36-3000 электрической мощностью 60 МВт в конденсационном режиме с промежуточной сепарацией пара и произведен ее детальный расчет.

Так как Усть-Куйга расположена на реке Яне, которая большую часть года находится подо льдом, была принята оборотная система водоснабжения с сухими вентиляторными градирнями (по типу Билибинской АЭС) при расчетном давлении в конденсаторе 6 кПа. Была разработана тепловая схема турбоустановки и произведен ее расчет с определением показателей тепловой экономичности. КПД (нетто) турбоустановки согласно расчету составил 32,02 %.

Согласно проведенной оценке, себестоимость отпускаемой электроэнергии от АСММ с двумя реакторами РИТМ-200Н составила 40,17 рублей за 1 кВт·час. Это почти в два раза меньше по сравнению с дизельными электростанциями, преобладающими в этом районе (для Усть-Янского района средний тариф на электроэнергию составляет на 2025 год 76,3 руб/кВт·час).

*К.М. Антонов студ.; Н.Д. Агапов студ.; рук. А.Ю. Токов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ ВОДОРОДА НА АЭС ДЛЯ ПОКРЫТИЯ СУТОЧНЫХ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

С ростом доли атомных электростанций (АЭС) в энергосистеме возникает проблема ночных провалов нагрузки — снижение потребления электроэнергии в ночное время. АЭС работают в базовом режиме, и регулирование мощности реактора связано с рисками для безопасности и экономической неэффективностью. Решением может стать аккумулярование избыточной энергии с использованием водородных технологий. Водородные технологии позволяют аккумуляровать избыточную энергию, вырабатываемую АЭС в ночное время, и использовать её в периоды пиковой нагрузки.

Схема водородного комплекса. Избыточная электроэнергия используется для производства водорода методом электролиза воды. Водород может сжигаться для перегрева свежего пара в цикле АЭС, повышая эффективность станции. Система сжигания водорода позволяет использовать его для перегрева пара в турбинах, увеличивая мощность станции в периоды пиковой нагрузки. Для повышения эффективности АЭС предлагается оптимизация тепловых схем, включая использование байпаса СПП или пикового контура с турбиной противодавления.

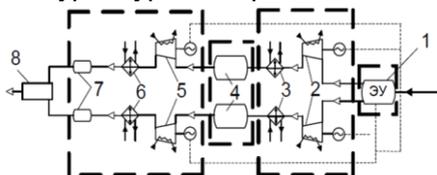


Рис.1. Принципиальная схема водородного энергетического комплекса:

1 – электролизный цех с электролизными установками; 2 – внешние компрессорные агрегаты; 3,6 – теплообменник; 4 – емкости хранения водорода и кислорода; 5 – пиковые компрессорные агрегаты; 7 – буферная емкость; 8 – водород-кислородный парогенератор

Водородные технологии и оптимизация тепловых схем решают проблему ночных провалов нагрузки, повышая эффективность и безопасность АЭС. Это открывает новые возможности для использования водорода как энергоносителя, способствуя переходу к устойчивой энергетике.

Библиографический список

1. Examining the Technoeconomics of Nuclear Hydrogen Production and Benchmark Analysis of the IAEA NEEP Software / © IAEA, Printed by the IAEA in Austria December 2018
2. Обоснование оптимальных схем, характеристик и системной эффективности водородных надстроек на АЭС с ВВЭР: Диссертация / А. В. Портянкин – Саратов: СГТУ, 2011.

*А.А. Вихрева, студ.; рук. А.Г. Ильченко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБРАЩЕНИЕ С ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ

Обращение со свежим ядерным топливом (СЯТ) и с образующимся на АЭС отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) - важные этапы ядерного топливного цикла.

Ниже рассмотрены схемы обращения с ЯТ на примере Ленинградской АЭС.

Обращение с ЯТ включает следующие этапы.

1. Поставка тепловыделяющих сборок (ТВС) сторонней организацией (АО «МСЗ»).

2. Хранение «свежих» ТВС (СТВС) на складе «свежего» топлива. При хранении контейнеров с СТВС РБМК-1000 они укладываются в штабеле в 3 яруса (всего не более 253 контейнеров). В каждом не более 10 СТВС РБМК-1000.

3. Приемка СТВС на энергоблоках №3 и №4 (производится в специальном помещении).

4. Сборка и хранение СТВС на энергоблоках №3 и №4 для дальнейшей загрузки в активную зону реактора.

5. Выгрузка и хранение отработавших ТВС (ОТВС) в приреакторных бассейнах выдержки (БВК). Размещение ОТВС вертикальное, не более 2732 ОТВС.

6. Отправка ОТВС из приреакторных бассейнов выдержки на «мокрое» хранение в бассейны выдержки (БВ) хранилища ОЯТ (ХОЯТ). Размещение ОТВС вертикальное (всего не более 38160 ОТВС).

7. Перевод ОТВС на «сухое» хранение в упаковочный комплект хранения ОЯТ (УКХ-109). В «сухом» хранилище ОТВС хранятся в герметичных УКХ, заполненным инертным газом. Конструкционная надёжность и материалы контейнеров позволяют хранить в них ОЯТ в течение 50 и более лет. Теплоотвод от ОЯТ осуществляется без использования принудительных систем за счёт естественной конвекции.

8. Отправка ОЯТ с Ленинградской АЭС в стороннюю организацию (ФГУП «ГХК» на большие центральные хранилища или ФГУП «МАЯК» для переработки ОТВС).

И.А. Феоктистов, И.М. Сильченко, А.Д. Трофимов, студ.;
рук. М.А. Вольман, к.т.н. (ИГЭУ, г. Иваново)

АНАЛИЗ ВОПРОСОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В настоящее время актуальным является вопрос переосмысления использования территорий, связанных с недостроенными и выведенными из эксплуатации атомными электростанциями на территории страны. Комплексный подход к данной проблеме способен открывать новые горизонты для экономического и социального развития. Эти зоны могут стать основой для создания новых экономических центров, включая промышленные парки и исследовательские комплексы, что позволит не только увеличить экономическую активность, но и привлечь инвесторов.

Предметом данной работы стал сравнительный анализ успешных примеров решения обозначенного вопроса. Международный опыт использования закрытых АЭС в других странах с учетом особенностей каждой отдельно взятой площадки может стать ориентиром для оптимизации процессов в России.

Одной из ключевых задач является экологическая реабилитация. Важно оценить возможности восстановления экосистем на этих территориях, а также преобразовать их в природные заповедники или рекреационные зоны. Это придаст новым местам привлекательность для туристов и создаст новые рабочие места.

В рамках энергетической инфраструктуры необходимо исследовать варианты использования имеющихся мощностей для развития альтернативных источников энергии, таких как солнечные и ветровые электростанции. Это создаст новые рабочие места в сфере возобновляемой энергетики.

Привлечение инвестиций и финансирования — ключевой аспект для успешной реализации проектов по преобразованию данных территорий. Необходимо анализировать возможности государственного и частного партнерства, а также изучать потенциал международных грантов и программ.

В итоге, разработка долгосрочных стратегий устойчивого развития для выведенных из эксплуатации территорий с акцентом на экономическую, экологическую и социальную устойчивость обеспечит гармоничное использование ресурсов и создание качественной среды для жизни и работы.

*В.В. Филатов, асп.; рук. А.А. Беляков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

О РЕГУЛИРОВАНИИ УРОВНЯ В СМЕШИВАЮЩЕМ ПОДОГРЕВАТЕЛЕ ТИПА ПНСВ-4000-2А-М В СИСТЕМЕ РЕГЕНЕРАЦИИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ К-1200-6,8/50

В состав системы регенерации низкого давления в качестве второго по ходу основного конденсата теплообменника применен смешивающий подогреватель (далее – ПНД-2). ПНД-2 представляет собой вертикальный цельносварной сосуд высотой 11,04 м, разделенный внутри перегородкой, делящей пространство на камеру подогрева (смешения) и камеру сбора конденсата с линией аварийного перелива в конденсатор турбины. Подвод пара из отбора турбины осуществляется через два патрубка с обратными клапанами (захлопками), установленными внутри корпуса подогревателя [1].

Поддержание уровня в основного конденсата ПНД-2 во всех режимах работы турбины К-1200-6,8/50 осуществляется посредством узла регулирования, состоящего из пусковой линии (ПЗА, ПР) и основных линий (ЗА1, ОР1 и ЗА2, ОР2). В автоматическом режиме работы, т.е. без ручного воздействия оператора, регулирования уровня осуществляется одной основной линией, причем пусковая линия находится постоянно в промежуточном положении (~50%) для обеспечения более точного регулирования.

Опыт ввода в эксплуатацию энергоблоков Белорусской АЭС показал, что возможны режимы работы узла регулирования уровня ПНД-2, когда возникают кавитационные процессы при работе одной основной линии, сопровождающиеся высокочастотной вибрацией всего узла регулирования. Для исключения возникновения нарушения сплошности потока в узле регулирования было принято решение подключить в параллельную работу вторую основную линию с корректировкой алгоритма автоматической работы по принципу одна основная линия ведущая, вторая ведомая. Регулирование уровня конденсата в ПНД-2 таким способом исключает кавитацию и позволяет снизить вероятность разрушения внутренних элементов регулирующих клапанов или запорных арматур в составе узла регулирования.

Библиографический список

1. Филатов В.В., Беляков А.А. Исследование переходного процессе в смешивающем подогревателе типа ПНСВ-4000-2А-М в системе регенерации низкого давления паровой турбины К-1200-6,8/50. Материалы конференции Энергия-2024. Том 3. Стр. 43.

В.В. Филатов, асп.; рук. А.А. Беляков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)

О РАСЧЕТЕ КГТН ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПАРОВОДЯНОГО ЦИКЛА

В составе пароводяного цикла (система промежуточной сепарации и перегрева пара) турбоустановки К-1200-6,8/50 введенных в эксплуатацию энергоблоков атомных станций проекта «АЭС-2006» применяется конденсатный гидротурбонасос КГТН 415-305А-1 (далее – КГТН). КГТН предназначен для отвода конденсата греющего пара из конденсатороборников второй ступени СПП в магистраль питательной воды за подогревателями высокого давления (рис. 1). Конструктивно гидротурбонасос представляет двухкорпусной насос. Внутри наружного корпуса которого установлена гидротурбина, имеющая общий вал с рабочим колесом насоса [1].

Одним из условий безотказной работы КГТН является корректный расчет осевого усилия (суммарного), действующее на ротор агрегата и воспринимаемое верхним разгрузочным устройством (гидропяттой, верхним подшипниковым узлом). Перераспределение суммарного осевого усилия по направлению вниз в динамическом режиме работы возможно, но величина незначительна и воспринимается втулкой нижнего гидростатического подшипника. На стадии проектирования системы питательной воды парогенераторов с применением КГТН (энергоблоки проекта АЭС-2006) важным параметром является диапазон давления питательной воды $\Delta P_{ПВ}$, создаваемый ПЭН в интервале мощности реакторной установки от 20% до 100%, в том числе, зависящий от количества работающих ПЭН и их расходно-напорных характеристик. Диапазон $\Delta P_{ПВ}$ определяет величину осевого усилия внутри КГТН, на основании которого выполняется расчет подшипниковых узлов агрегата и выполнение необходимых доработок конструкции элементов КГТН для обеспечения безотказной работы по причине ранней выработки подшипников или в худшем случае – заклинивании ротора агрегата.

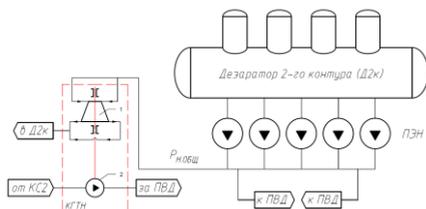


Рисунок 1 – Принципиальная схема подачи питательной (силовой) воды к КГТН:

1 – приводная гидротурбина, 2 – рабочее колесо КГТН, $P_{н.общ}$ – общее напорное давление, создаваемое ПЭН (на входе в гидротурбину КГТН)

Библиографический список

1. Филатов В.В., Беляков А.А. Влияние изменения температуры питательной воды, подаваемой в парогенераторы реакторной установки, при отключении КГТН 415-305А-1 на электрическую мощность паровой турбины К-1200-6,8/50, Материалы конференции «ЭНЕРГИЯ-2024», Том 3, стр. 44.

К.О. Емельянов, асп.; М.А. Вольман, к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗА СЧЕТ КОМБИНИРОВАНИЯ СЛОЕВ МАТЕРИАЛА КОМПОЗИТА

Одним из путей повышения эффективности экранирования радиационно-защитного композитного материала является применение системы комбинированных слоев нескольких композитов. Композитные материалы сами по себе способны снижать мощность ионизирующего излучения, но при комбинировании слоев из нескольких материалов можно добиться еще более значительного снижения. Экранирование ионизирующего излучения объясняется тем, что происходит многократное рассеяние и взаимодействие (отражение) фотонов на границе раздела между каждым слоем в многослойной структуре, что и приводит к значительному снижению мощности излучения.

Как было показано в исследовании [1] для двух изучаемых композитных материалов, комбинирование слоев из этих материалов повышает эффективность экранирования. В случае комбинирования двух слоев эффективность повышалась до 12,85%, в сравнении с экраном из одного материала. В случае же комбинирования четырех слоев эффективность экранирования повышалась вплоть до 62,26%, в сравнении с экраном из одного материала. Объясняется это тем, что при увеличении числа слоев с 2 до 4 вероятность фотоэлектрического эффекта значительно возрастает за счет дополнительного поглощения и рассеяния ионизирующего излучения между границами раздела каждого слоя.

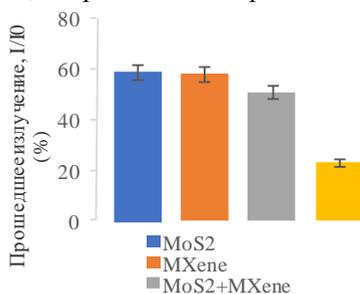


Рис.1 Интенсивность прошедшего излучения

Библиографический список

1. Yu, L., Nine, M.J., Tung, T.T. *et al.* (2023). Revealing enhanced X-Ray radiation shielding of 2D layered materials and their laminar heterostructures. *Graphene and 2D mater*, Vol. 8, 151–159. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s41127-023-00064-4>.

*Д.С. Николаев, студ.; Т.Д. Демкина, асп.; Д.Д. Курицин, асп.;
рук. Д.Н. Солнцев, к.т.н., доц.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)*

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОДИНАМИКИ ПОТОКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТВЭЛЬНОМ ПУЧКЕ ТВС РЕАКТОРА РИТМ

На текущий момент идет завершающий этап разработки модернизированного плавучего энергоблока Госкорпорацией «Росатом», предназначенного для обеспечения электроэнергией удаленных территорий. В качестве энергоисточника плавучего энергоблока выступает реактор РИТМ 200С [1-2]. Одним из основных компонентов ядерного реактора является новая активная зона, к которой предъявляются повышенные требования по надежности и безопасности. Одним из этапов обоснования новой конструкции активной зоны является экспериментальное исследование течения теплоносителя в пучке твэлов ТВС. Новые знания о гидродинамике теплоносителя повысят точность результатов теплогидравлического расчета активных зон при обосновании их надежности.

Целью работы являлось экспериментальное определение гидродинамических характеристик потока в пучке твэлов ТВС. Эксперименты проводились на исследовательском стенде с воздушной рабочей средой на модели фрагмента пучка твэлов ТВС, основываясь на теории гидродинамического моделирования. Эксперименты проводились с использованием инвазивных методов исследований (пневмометрический метод и метод инъекции контрастной примеси). Особенности течения потока визуализированы картограммами аксиальной и тангенциальной скорости, а также распределения концентрации примеси. В ходе экспериментов были выявлены особенности течения аксиального потока, а также определена структура поперечных течений теплоносителя. Выявленные особенности течения потока следует учитывать при обосновании теплотехнической надежности новых кассетных активных зон с использованием ячейковых теплогидравлических кодов.

Работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (тема № FSWE-2024-0003).

Библиографический список

1. Реакторные установки для атомных ледоколов. Опыт создания и современное состояние / Д.Л. Зверев [и др.] // Атомная энергия. – 2020. – Т. 129. – Вып. 1. – С. 29–37.
2. Реакторные установки для атомных станций малой мощности / Петрунин В.В. // Вест. РАН. – 2021. – Т. 91. – № 6. – С. 528–540.

*Д.Г. Соенко, асп., И.Е. Вихарев, студ., Б.М. Харитонов, асп.;
рук. А.А. Беляков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УНИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ МАШИННОГО ЗАЛА АЭС БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

На текущий момент в РФ наибольшее распространение получили АЭС с реакторами типа ВВЭР тепловой мощностью 3000-3300МВт. Для преобразования тепловой энергии реактора в электрическую применяются турбогенераторные установки (ТГУ) как в быстроходном, так и в тихоходном исполнении.

Целью работы является проработка универсальных решений при проектировании машинного зала АЭС большой мощности, которые могут быть применены как с быстроходными, так и с тихоходными турбоустановками.

Ввод в эксплуатацию 6 энергоблоков проекта АЭС-2006 с быстроходной ТГУ АО «Силовые машины», а также работа над проектами АЭС «Пакш-2», «Эль – Дабаа», «Аккую», с тихоходными турбоустановками ARABELLE позволили накопить большой опыт проектирования и эксплуатации машинных залов современных АЭС большой мощности с принципиально разными ТГУ, что в свою очередь позволило выработать решения, которые могут быть использованы в качестве универсальных в любом машинном зале будущей АЭС большой мощности [1-9], несмотря на то что тип ТГУ оказывает фундаментальное влияние на строительные, технологические и компоновочные решения машинного зала АЭС.

Кроме того, данные решения позволяют унифицировать набор ключевого оборудования для АЭС и тем самым приблизиться к потоковому процессу проектирования и сооружения и вводу в эксплуатацию энергоблоков атомных станций.

Библиографический список

1. Материалы технического проекта Нововоронежской АЭС-2.
2. Материалы технического проекта Ленинградской АЭС-2.
3. Материалы технического проекта Белорусской АЭС.
4. Материалы технического проекта АЭС «Пакш-2».
5. Материалы технического проекта АЭС «Эль – Дабаа».
6. Материалы технического проекта АЭС «Аккую».
7. Отчет по опыту сооружения энергоблока №1 Ленинградской АЭС-2., 2018 г.
8. Отчет по опыту сооружения энергоблока поколения 3+, 2017 г.
9. Отчет по опыту сооружения энергоблока №2 Нововоронежской АЭС-2., 2019 г.

*А.Р. Беляев, студ., Б.М. Харитонов, асп.;
рук. А.А. Беляков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОЦЕНКА РИСКОВ ПОВРЕЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ РЕАКТОРНОГО ЗДАНИЯ АЭС С РЕАКТОРОМ ВВЭР-1200

Различные формы скрытых дефектов, не выявляемых на ранних стадиях возникновения, повседневно наблюдаются в строительных конструкциях и оборудовании атомных электростанций на всех этапах жизненного цикла. Основными причинами дефектов являются ошибки проектирования, конструирования, нарушение технологии монтажа, ремонта, условий эксплуатации.

Оценить влияние, которое деградация оказывает на способность оборудования и трубопроводов, а также защитных оболочек удерживать давление, можно путем проведения структурных анализов. В данном исследовании выполнен структурный анализ рисков повреждения строительных конструкций защитной оболочки реакторного здания атомных электростанций с реактором ВВЭР-1200 на примере энергоблоков Ленинградской АЭС-2 и Нововоронежской АЭС-2.

Риски повреждений защитной оболочки выявляются различными методами, а том числе с применением расчетных методов на основе вероятностного анализа безопасности (ВАБ) для оценки частоты и последствий при различных возможных сценариях проектных и запроектных аварий.

Применительно к защитной оболочке реакторного здания, выполняется анализ её несущей способности с помощью ВАБ уровня 2 (ВАБ-2) как при внешних воздействиях (природных, техногенных), так и при внутренних воздействиях, связанных с поломкой оборудования и трубопроводов главного циркуляционного контура (1 контура), расположенных внутри реакторного здания.

Библиографический список

- 1. Швыряев Ю.В.** и др. Вероятностный анализ безопасности атомных станций. Методика выполнения. - М.: ИАЭ им. И.В.Курчатова, 1992, 266с.
- 2. Токов А.Ю., Магницкий Д.Н.** Методы оценки надежности элементов и систем атомных станций: Учебное пособие / ч.2: Метод дерева отказов при выполнении ВАБ-0 / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». – Иваново, 2023. – 48 с.
- 3. СТО 1.1.1.03.004.1970-2022** «Оценка технического состояния и остаточного ресурса защитных оболочек блоков атомных станций с ВВЭР-1000»;

СЕКЦИЯ 9
ТЕПЛООБМЕН В ПРОМЫШЛЕННЫХ
УСТАНОВКАХ

Председатель –
к.т.н., доцент **Габитов Р.Н.**

Секретарь –
студ. **Гидулянов И.Б.**

*А.К. Бастынец, студ.; рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

ВЕРИФИКАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НОВОГО СПОСОБА ТУШЕНИЯ КОКСА

Установки сухого тушения кокса (УСТК) широко распространены, однако, не смотря на существенные преимущества, их главным недостатком является наличие «угара» [1]. Основной причиной его возникновения является наличие кислорода в составе циркулирующего газа. Для уменьшения угара предлагается использовать в качестве циркулирующего теплоносителя инертный газ состоящий исключительно из азота N_2 , который не будет вступать в реакцию с раскаленным коксом, тем самым повышать выход годного.

Минимальные расчетные значения угара, приводимое в литературе составляет от 0,3% до 0,8% [2]. На основе разработанной теоретической методики расчета времени тушения, производительность установки повышается за счет снижения длительности тушения.

В качестве верификации вышеописанного мероприятия и методики расчета времени тушения был создан экспериментальный стенд (рис. 1).

Последовательность проведения эксперимента состоит из двух этапов

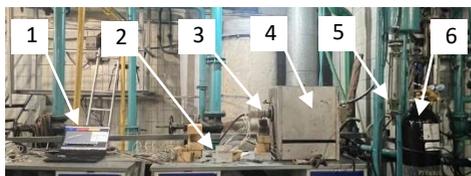


Рис.1. – Экспериментальная установка:
1 – ПК; 2 – аналоговый модуль ввода; 3 – стальная труба; 4 – печь; 5 – ротаметр; 6 – баллон азота.

нагрева и охлаждения стальной трубы в печи. На первом этапе заранее взвешенный кокс, находящийся в полости стальной трубы, нагревался в азотной среде до $1052^{\circ}C$, после чего трубу извлекли из печи, исключая тем самым побочную передачу остаточной теплоты от печи к трубе, при этом не прекращалась непрерывная продувка азотом. При достижении показаний термомпары в $171^{\circ}C$, фиксировалось время тушения.

В следствие проведенного эксперимента были определены угар кокса (0%) и экспериментальное время тушения (11,42 мин). Теоретическое время тушения по разработанной методике составило 11,5 мин. По результатам эксперимента можно говорить о верности теоретических исследований и верификации результатов.

Библиографический список

- 1. Духан В.Н.** Мастер коксового производства М.: Metallургия, 1970.–368с.
- 2. Теплицкий М.Г.** Сухое тушение кокса. М.: Metallургия, 1971.–264с.

*В.А. Мурашов, А.К. Бастынец, студ.; Д.Д. Львов, асп.;
рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», г. Москва)*
**ГОРЯЧИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ЖИДКОФАЗНОГО
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА**

Наиболее распространённой методикой производства стали является связка из доменного и конвертерного производства [1]. Но данная технология обладает рядом недостатков таких как: относительно высокая энергоёмкость; затраты ценного и дорогого коксового угля. Одним из решений данных недостатков может являться переход на внедоменное жидкофазное восстановление железа природным газом (ПГ) с использованием барботажа (донной продувки). Однако возможность реализации подобно-го механизма остаётся под вопросом.

Согласно [1] для восстановления 1 тонны АРМКО-железа из железорудного концентрата требуется около 250 нм³ ПГ, а энергоёмкостью будет в пределах 900 кг у.т./т, что ниже текущих затрат в 1482 кг у.т./т.



Рис.1. – Экспериментальная установка

Для верификации методики жидкофазного восстановления железа природным газом был разработан лабораторный стенд, представленный на рисунке 1. В основе стенда лежит печь Таммана.

Последовательность проведения эксперимента состоит из трех этапов нагрева/плавления, восстановления и охлаждения. На первом этапе заранее взвешенная порция концентрата (200 г), находящаяся в алундовом тигле, который размещён в углеродном тигле, нагревается до 1650 °С, после чего при постоянной температуре производится

донная продувка ПГ (0,067 м³), после которой следует этап охлаждения. Все три этапа проводятся в нейтральной среде Ag.

В результате первого горячего эксперимента было получено 30 г металла неоднородного по составу, со средним содержанием углерода 1 - 1,5 %.

Библиографический список

- 1. Восстановление железосодержащих материалов углеродводородной смесью в жидкофазном реакторе** / Строгонов К.В., Львов Д.Д., Мурашов В.А., Бастынец А.К., Петелин А.Л., Дюдина О.В. // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEЕ). – 2024. – №. 4. – С. 99-111.

*К.Ю. Благов, студ.; рук А.В. Котлова, преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ УСТАНОВКИ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

Контроль температуры критически важен для безопасности, эффективности и качества технологических процессов в теплоэнергетике, химической промышленности и автоматизированном мониторинге. Ошибки установки датчиков приводят к системным сбоям и росту затрат. Российские учёные, например, разработавшие датчики с функцией самокалибровки в ЮУрГУ, демонстрируют существенное повышение точности измерений.

Современные схемы делятся на контактные и бесконтактные. Контактные датчики непосредственно соприкасаются с измеряемой поверхностью, что обеспечивает высокую точность, но требует регулярного обслуживания. Бесконтактные позволяют измерять температуру на расстоянии, что актуально в агрессивных средах. Оптимальное решение – схема с интеграцией самокалибровки и цифровой обработки сигналов, минимизирующей дрейф показаний, что подтверждают исследования российских учёных.

Возможные доработки и перспективы развития:

1. использование экологичных материалов для изготовления датчиков, что снижает стоимость и повышает долговечность;
2. интеграцию с технологиями IoT и искусственного интеллекта для прогнозирования отклонений и автоматической корректировки режимов;
3. разработку модулей самообучения и самодиагностики для уменьшения систематических ошибок;
4. оптимизацию крепёжных элементов для снижения влияния вибраций.

Выбор оптимальной схемы, основанный на комбинированном подходе, обеспечивает высокую точность и экономическую эффективность, а перспективные доработки с использованием инновационных материалов и алгоритмов подтверждают потенциал российских разработок.

Библиографический список

1. Скворцов В.А. Датчики температуры и их применение в промышленности: учеб. пособие / В.А. Скворцов. — М.: Машиностроение, 2015. — 280 с.: ил.

*К.А. Сторожун, студ.; рук. А.Е.Соборнов, ст.преп.
(НГТУ, Нижний Новгород)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕГКОКИПАЩИХ ЖИДКОСТЕЙ В ДВУХФАЗНОМ ИММЕРСИОННОМ ОХЛАЖДЕНИИ КОНСТРУКЦИЙ С ВЫСОКИМ УДЕЛЬНЫМ ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЕМ

Уменьшение размера электронных устройств и увеличение их удельного энерговыделения ставит новые задачи в поиске технологических решений в области высокоэффективного охлаждения и поддержания термостабильности системы. Классические методы, основанные на охлаждении нагреваемых поверхностей воздухом, не справляются с поставленными задачами, либо требуют существенных энергетических затрат на поддержание оптимального температурного режима работы оборудования [1]. Системы, основанные на водяном охлаждении, являются потенциально опасными вследствие электропроводности и коррозионной активности воды.

Одним из перспективных и эффективных способов является двухфазное иммерсионное охлаждение с использованием диэлектрических легкокипящих жидкостей. Однако проектирование системы охлаждения, основанной на данном способе, затруднено из-за отсутствия достаточных данных о тепловых и химических свойствах ряда диэлектрических жидкостей, поэтому необходима работа по комплексному исследованию процессов теплообмена при кипении и конденсации применяемых хладагентов.

В рамках НИР были проведены эксперименты по определению коэффициента теплоотдачи жидкости ФК 5-1-12 при кипении и конденсации на плоской медной пластине. Общая схема макета для изучения конденсации и кипения представлена на рисунке 1.

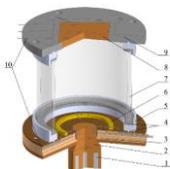


Рис. 1 «Макет установки»: 1 – патронный трубчатый электрический нагреватель (ТЭН); 2 – нагреватель; 3 – крышка нижняя; 4 – прокладка силиконовая; 5 – проставка пластиковая; 6 – кольцо установочное; 7 – корпус; 8 – конденсатор-охладитель, 9 – крышка верхняя; 10 – термопара

В ходе проведения исследований были получены зависимости плотности теплового потока от температурного напора при кипении рассматриваемой диэлектрической жидкости и установлен максимальный коэффициент теплоотдачи конденсации и кипения при атмосферном давлении. Также была получена зависимость критического теплового потока от давления жидкости в диапазоне 0,05-0,2 МПа.

Библиографический список

1. J. Cho, J. Yang, C. Lee, J. Lee, Development of an energy evaluation and design tool for dedicated cooling systems of data centers: Sensing data center cooling energy efficiency, Energy Build. 96 (2015) 357–372.

А.М. Безруков, студ.; рук. О. Б. Колибаба, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

АНАЛИЗ РАБОТЫ ТОПОК СУШИЛЬНЫХ БАРАБАНОВ

Сушильные барабаны для минеральных удобрений представляют собой важное оборудование в процессе производства и обработки удобрений. Они используются для удаления влаги из минеральных веществ. Что позволяет улучшить их хранение и транспортировку, а также повысить эффективность применения в сельском хозяйстве.

Нами проанализирована работа топок сушильных барабанов для производства минеральных удобрений, которая реализована в программном комплексе MICROSOFT OFFICE EXCEL.

Для анализа нам были предоставлены данные работы восьми топок сушильных барабанов за период с 01.10.2021 до 15.10.2024. Мы выяснили сколько времени требуется для охлаждения топок, количество остановок каждой из топок сушильных барабанов за этот период и время, когда каждая из топок находилась в работе.

График охлаждения топки сушильного барабана приведен на Рис.1

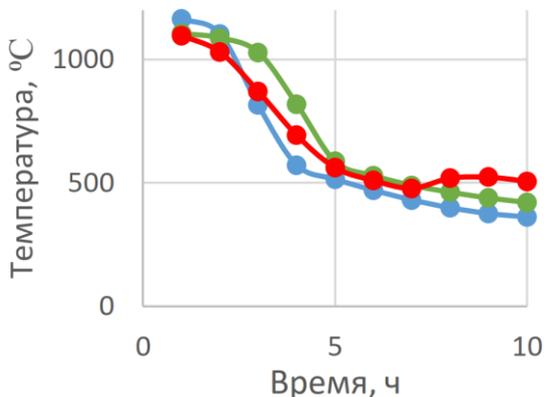


Рис.1. График охлаждения топки сушильного барабана

Библиографический список

1. Сокольский, Анатолий Иванович. Сушка дисперсных материалов в аппарате с активной гидродинамикой двухфазного потока / Иван. хим.-технол. ин-т. — Иваново, 1988. — 141 с.: ил.

*А.В. Анарина, Е.Д. Новикова, Е.О. Брагин; О.Б. Колибаба, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ МАССОПРОВОДНЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНОЙ ОПИЛОЧНОЙ ЗАСЫПКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В КАЧЕСТВЕ УТЕПЛИТЕЛЯ ОГРАЖДЕНИЙ ЗДАНИЙ

В качестве основных сырьевых материалов используются хвойные опилки разной фракции, полученные на производстве: 0,5-1мм; 1-2мм; 2-3мм. Для защиты древесины от разбухания, гниения, плесени и насекомых предлагается использовать гидрофобизатор - кремний органический жидкий на водной основе. Экспериментальное исследование было проведено для разного фракционного состава опилок. Расчет влагосодержания опилок разной фракции при пропитке их в дистиллированной воде и гидрофобизаторе осуществлялся по следующим формулам:

Абсолютная влажность материала:

$$\omega_a = \frac{m_{вл} - m_{сух}}{m_{сух}} \cdot 100\% \quad (1)$$

где: $m_{вл}$ и $m_{сух}$ это массы влажных и сухих опилок

Относительная влажность материала:

$$\omega = \frac{\omega_a}{1 + \omega_a} \cdot 100\% \quad (2)$$

Результаты экспериментальных исследований сведены в табл.1.

Таблица 1. Результаты исследования влагосодержания опилок.

Толщина фракции	0,5-1 мм	1-2мм	2-3мм
Масса влажного опилка	84,91	86,69	128,4
Номер бьюсы	3	2	1
Относительная влажность пропитки в дистил. воде, %	212,4	211,1	230,5
Относительная влажность пропитки в гидрофобизаторе, %	165,7	178,5	170,9

Вывод: Полученные данные позволяют говорить об эффекте снижения влагопоглощения за счет пропитки опилок гидрофобизатором.

Библиографический список

1. «Гидроэффект 2.1.» ТУВУ 291201828.001-2014
2. СНИП П-А.7-62 «Строительная теплотехника. Нормы проектирования» 1962

*Е.Н. Широбокова, магистрант; Сергиенкова А.А., соискатель
рук. Е.В. Гусев, к.т.н. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЛАГОПЕРЕНОС ПРИ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ ГЛИНОЗОЛЬНОГО МАТЕРИАЛА КАК ОБЪЕКТА СУШКИ

Интенсивность удаления связанной влаги из капиллярно-пористого материала в процессе тепловой обработки определяется внутри пористой структурой высушиваемого тела. Одним из основных физических параметров материала при оценке его структурных изменений является средняя плотность, которая связана с интенсивностью внутреннего влагопереноса [1].

С этой целью изготавливались глинозольные образцы различной структуры переменного вещественного состава из тонкодисперсных материалов с влажностью 20% способом жесткого пластического прессования на гидравлических прессах при различных удельных нагрузках (1÷30 МПа) со скоростью нагружения 1,0 МПа/с.

Полученные изделия-сырцы были подвергнуты сушке в сушильной камере при температуре 105°C до полного обезвоживания и измерению объема и массы высушенных образцов.

В результате полученных данных были установлены зависимости средней плотности ρ_0 глинозольного материала различного вещественного состава от разной степени уплотнения $\sigma_{сж}$ (рис.1).

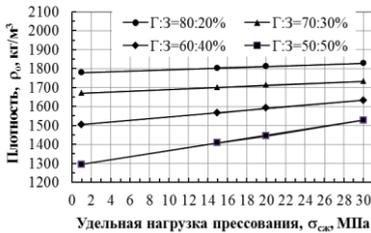


Рис.1 Зависимости плотностей глинозольного материала различного состава от удельной нагрузки прессования

Полученные данные позволяют установить кинетическую закономерность интенсивности влагопереноса с внутрипористой структурой глинозольного тела различного состава через его

плотность ρ_0 , среднее влагосодержание \bar{U} и температуру теплоносителя T_c в виде следующего выражения по определению коэффициента влагопереноса [1]:

$$a_m = \frac{A_0}{(1 - A_0 \bar{U})} \left(\frac{T_c}{T_0} \right)^n = \frac{4,84 \cdot 10^{-11}}{(1 - 0,0032 \rho_0 \bar{U})} \left(\frac{T_c}{T_0} \right)^{20}.$$

Библиографический список

1. Лыков А.В. Тепломассообмен: справочник. М.: Энергия, 1971. 560 с

В.Г. Пак, магистрант;

рук. Е.В. Гусев, к.т.н. (ИГЭУ, г. Иваново)

КИНЕТИКА СУШКИ ЛИСТОВОГО ШПОНА ПРИ КОНВЕКТИВНОМ ПОДВОДЕ ТЕПЛОТЫ

При проектировании сушильного аппарата для конкретного материала необходимы данные по кинетическим закономерностям влагопереноса, отражающие в совокупности расходы теплоносителя и теплоты на обезвоживание высушиваемого изделия [1].

В качестве исследуемого материала применялся тонколистовой шпон, полученный обработкой древесины хвойных пород.

Кинетика сушка листовых образцов исследовалась в сушильной камере с рециркуляцией сушильного агента в условиях продольного обтекания теплоносителем обеих поверхностей материала при различных температурах воздуха $80 \div 120^\circ\text{C}$ и его скоростях $0 \div 3$ м/с.

Результаты экспериментов по кинетике шпона приведены на рис. 1.

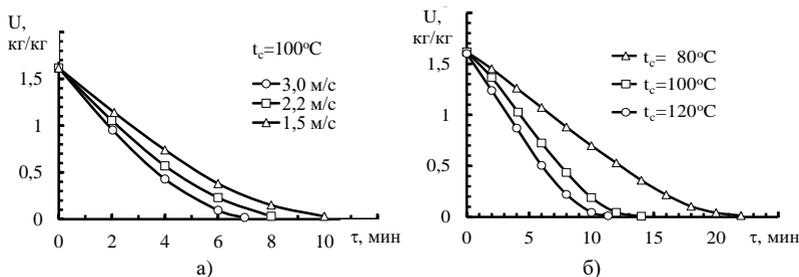


Рис.1. Кривые сушки при вынужденной (а) и естественной (б) циркуляции теплоносителя

Из полученных закономерностей видно, что с возрастанием температуры воздуха от 80°C до 120°C продолжительность процесса обезвоживания листового шпона снижается на 50% (рис.1, б), при повышении скорости обдува до 3,0 м/с при температуре 100°C , время сушки возрастает 2 раза (рис.1, а). Характер изменения влагосодержания U во времени τ показывает влияние на интенсивность и продолжительность обезвоживания режимных параметров сушки (температуры, скорости), а также, что большая часть влаги удаляется в период постоянной скорости, т. е. определяется массоотдачей с поверхности высушиваемого материала.

Библиографический список

1. Стерлин Д.М. Сушка в производстве фанеры и древесностружечных плит. М.: Лесная промышленность, 1968. 380с.

Д.А. Мурашев, студ.; рук. Р.Н. Габитов к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)
**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ТЕПЛОВОГО
 ЭФФЕКТА ПИРОЛИЗА ОТХОДОВ**

При переработке твердых коммунальных отходов методом чистого пиролиза образуется недостаток тепловой энергии вследствие их эндотермического разложения, при этом образующийся пиролизный газ имеет высокую теплотворную способность. Это является как положительным, так и отрицательным фактором, влияющим на работу установок использующих пиролизный газ в качестве топлива. Применение окислительного пиролиза снижает калорийность газа, но при этом увеличивает энергетический КПД установок, работающих на отходах с относительной влажностью более 20%.

Результаты анализа экспериментальных данных, полученные на установке окислительного пиролиза приведены на рис. 1.

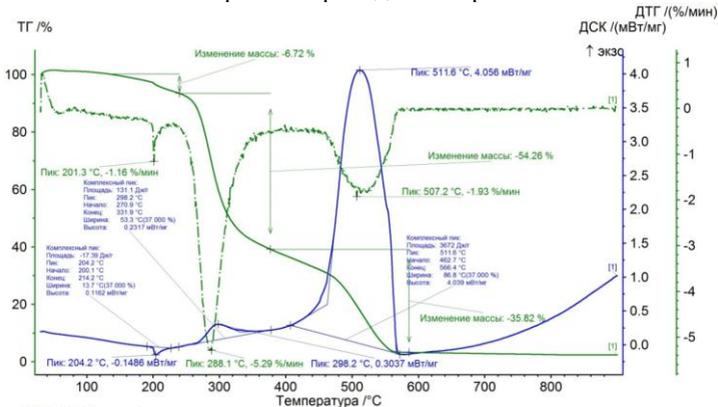


Рисунок 1 – Результаты термогравиметрического анализа отходов картофеля

В результате исследования установлено, что тепловой эффект пиролиза наблюдается в диапазоне температур от 240 до 560 °C. Тепловой эффект изменяется от – 1,2 МДж/кг при чистом пиролизе [1] до + 8,5 МДж/кг при окислительном пиролизе с содержанием кислорода 10% по объему[2].

Библиографический список

1. Кожурин, В. Н. Пиролиз торфа в смеси с полимерными отходами / В. Н. Кожурин // Природопользование. – 2009. – № 15. – С. 217-221.
2. Колибаба, О. Б. Термическая переработка твердых коммунальных отходов методом пиролиза / О. Б. Колибаба, Р. Н. Габитов. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2022. – 136 с.

*Долинин Д.А, доц; Н.В. Лактионов, маг.,
рук. О.В. Самышина, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСПЫТАНИЯ ШАМОТНОГО КИРПИЧА В УСЛОВИЯХ ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЯ

Главными качествами огнеупорных материалов являются стойкость при высоких температурах и ее перепадах, а также внешних агрессивных средах. Все технологические процессы связаны с прямым воздействием совокупности ряда разрушающих факторов на огнеупорные материалы. Шамотные кирпичи – самые распространенные огнеупорные материалы.

Для определения термостойкости образца шамотного кирпича ША-5 были проведены его испытания в условиях длительных циклических нагрузок. Испытания проводились в электрической камерной печи.

Перед установкой исследуемого шамотного кирпича в камеру печи проводили его визуальный осмотр. Затем помещали шамотный кирпич в печь и осуществляли нагрев. Подъем температуры осуществлялся со следующими параметрами: начальная температура кирпича – 20°C; скорость нагрева – 300 °C/ч; температура нагрева – 1300 °C. После достижения температурой в печи заданного значения, производилась выдержка при постоянной температуре в печи в течение 30 мин для обеспечения выравнивания температуры по сечению шамотного кирпича.

После установления постоянной величины теплового потока в кирпиче его извлекали из печи и помещали в поток охлаждающего воздуха от вентилятора. В процессе охлаждения шамотного кирпича фиксировали время до достижения температуры (25±10) °C с помощью пирометра. После охлаждения отключали вентилятор, и производили визуальный осмотр. Таким образом, исследуемый образец проходил термоциклирование «нагрев – охлаждение».

Анализ результатов испытания на термическую стойкость шамотного кирпича при нагреве до температуры 1300 °C и охлаждении на воздухе показал, что исследуемый шамотный кирпич ША-5 выдерживает без видимых изменений 20 циклов «нагрев – охлаждение» и более 30 циклов с незначительными внешними изменениями.

Библиографический список

1. Кашеев И.Д. Огнеупоры для промышленных агрегатов и топок: справочное издание. В 2 кн. Кн. 1. Производство огнеупоров / под ред. И.Д. Кашеева. Москва: Интернет Инжиниринг, 2000. 663 с.

Долинин Д.А, доц; И.С. Лаптев, маг.,
рук. О.Ю. Нагорная, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ШАМОТНОГО КИРПИЧА ПРИ ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИИ

Для исследования структуры и химического состава нового шамотного кирпича и аналогичного кирпича после эксплуатации в течение 1,5 лет, использовали метод сканирующей электронной микроскопии. Исследования проводились на электронном микроскопе TESCAN VEGA 3.

Результаты определения элементного состава нового шамотного кирпича и кирпича после 1,5 лет эксплуатации в топке сушильного барабана сведены в табл. 1.

Таблица 1 - Сравнение элементного состава нового шамотного кирпича и шамотного кирпича после 1,5 лет эксплуатации в топке сушильного барабана

Химический элемент	Условная концентрация, %		Изменение условной концентрации, %
	Новый кирпич	Кирпич после 1,5 лет эксплуатации	
C	13,17	6,66	-6,51
O	86,35	57,73	-28,62
Na	0,32	0,71	0,39
Al	16,40	12,72	-3,68
Si	27,65	18,16	-9,49
P	-	1,29	1,29
K	0,65	0,30	-0,35
Ca	0,61	3,07	2,46
Ti	0,98	0,88	-0,1
V	-	0,67	0,67
Fe	2,46	1,84	-0,62
Ni	-	0,45	0,45

После эксплуатации шамотного кирпича в течение 1,5 лет наблюдаются значительные изменения содержания кислорода, кремния и углерода. Это свидетельствует о происходящих при высоких температурах химических превращениях в составных компонентах шамота. Для более точного выявления указанных реакций требуется проведение дополнительных исследований для определения характера связей между отдельными химическими элементами.

Библиографический список

1. Кашеев И.Д. Химическая технология огнеупоров: учебное пособие / И.Д. Кашеев, К.К. Стрелов, П.С. Мамыкин. Москва: Интернет Инжиниринг, 2007. 746 с.

*Д.А. Монахов, студ.; рук. О.Б. Колибаба к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОЛУЧЕНИЕ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА ИЗ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Проблема увеличения объемов твердых коммунальных отходов (ТКО) в России представляет серьезную угрозу экологии и экономике страны. Основным методом обращения с отходами по-прежнему остается захоронение на полигонах, доля которого превышает 90%. Это приводит к загрязнению почвы, водных ресурсов и атмосферы, оказывает негативное воздействие на здоровье населения и снижает качество жизни.

Одним из эффективных решений является внедрение технологии пиролиз-газификация ТКО с выделением пищевой фракции, процентная составляющая которой достигает 40–43%. Предлагаемая технология предусматривает предварительную сушку и низкотемпературный пиролиз пищевых отходов при температуре 220–350°C, что позволяет получить продукт, по характеристикам аналогичный ископаемому углю, который затем газифицируется при температуре 850–1000°C в присутствии газифицирующего агента, состоящего из воздуха, водяного пара и диоксида углерода. В результате образуется генераторный газ, который может использоваться как энергетическое топливо или сырье для химического моделирование процесса подтвердили эффективность данного метода.

На процесс термической переработки большое влияние оказывает влажность исходных ТКО, которая может достигать 80-90%. Предварительная сушка отходов позволяет повысить эффективность процесса. Для сушки пищевых отходов используются различные сушильные установки, в том числе барабанного типа, которые подходят для материалов с высоким содержанием влаги и низкой теплотой сгорания. Процесс сушки в сушилке с вращающимся барабаном относится к процессам конвекционной сушки. Воздух является сушильным агентом и получает теплоту от генераторного газа в воздухоподогревателе.

Библиографический список

1. **Левин Б.И.** Использование твердых бытовых отходов в системах энергоснабжения. – М.: Энергоиздат. – 1982. – стр. 224.
2. **Тугов А.Н.** Энергетическая утилизация ТКО: мировой и отечественный опыт (обзор) / А.Н. Тугов // Теплоэнергетика. – 2022. – № 12. – стр. 5-22. DOI: 10.56304/S0040363622120098.

СЕКЦИЯ 10
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
В ТЕХНОСФЕРЕ

Председатель –
д.т.н., профессор **Соколов А.К.**

Секретарь –
студент **Комарова П.А.**

*К.В. Сироткина, студ.; рук. Ю.М. Овсянников, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ КВЕСТ-КОМНАТ

Квесты – это современный вид активного отдыха, который сочетает в себе элементы игры, театра и захватывающих приключений.

Однако, несмотря на развлекательный характер, они также несут в себе определенные риски и угрозы для участников.

В работе рассмотрены основные источники опасности в квест-комнатах, а также требуемые в связи с этим правила охраны труда, целью которых является минимизация рисков для жизни и здоровья участников мероприятия.

Получение физической травмы является одним из основных видов причинения вреда здоровью участвующих людей. Они часто оказываются в условиях, которые могут вызвать падения, как самих людей, так и вышестоящих массивных предметов, ушибы и переломы.

Важнейшим компонентом создания атмосферы страха и эмоционального напряжения, является использование недостаточного освещения. Как следствие, повышаются риски столкновений с препятствиями, падений, а также самопроизвольных движений, вызванных испугом.

Часто, в качестве реквизита квестов, используются реальные предметы, применение которых без соблюдения требований безопасности также является источником потенциального вреда здоровью участников. Например, возможны порезы, ожоги и другие травмы.

Очевидно, что организаторы данных развлечений должны уделять особое внимание вопросам обеспечения безопасности клиентов. Для этого им необходимо создавать безопасную игровую среду, проводить все виды требуемых инструктажей, использовать качественное оборудование и соблюдать требования охраны труда.

Такой подход значительно снижает риски для здоровья и безопасности участников.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 71161-2023 «Услуги в области развлечений и отдыха детей. Квест-комнаты детские. Общие требования»

*А.В. Кобенда, студ.; рук. А.Г. Горбунов к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА СВАРЩИКА

Оценка профессионального риска является важным элементом обеспечения безопасности работников, занятых в одной из наиболее опасных и ответственных профессий. Сварка связана с постоянным воздействием целого комплекса факторов: шума, световой среды, химических факторов. Эти условия создают риски для работников, включая возможность получения производственной травмы и профессионального заболевания. В связи с этим проведение оценки рисков становится важной частью системы управления охраной труда.

В данном докладе проведён расчёт профессионального риска на рабочем месте электросварщика ручной дуговой сварки. Риск оценивался по методике, разработанной доцентом кафедры БЖД Горбуновым А.Г. [1], с упрощениями, не учитывающими соблюдение работником требований инструкций по охране труда. Сутью методики является получение количественной оценки условий труда на рабочем месте, которая также учитывает состояние оборудования, инструментов и приспособлений на данном рабочем месте. Кроме того, предложенная методика учитывает случаи производственного травматизма, связанные с выполнением трудовых обязанностей, их степень тяжести, а также факты возникновения у сотрудников профессиональных заболеваний. При оценке условий труда класс условий труда определялся по отклонению производственного фактора от нормативных значений СанПиН 1.2.3685-21 по критериям [2], а формализованный показатель профессионального риска по таблице приложения Р.2.2.1766-03. В докладе приведены конкретные результаты оценки риска.

Библиографический список

1. Горбунов А.Г. Методика оценки профессионального риска /Материалы Международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электротехнологии» XVIII Бенардосовские чтения, т.1. 12 июня 2021 г.
2. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 21.11.2023 №817н «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению

*М.Д. Гусева, студ.; рук. К.В. Чернов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВАРИОФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И СОБЫТИЙ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИЮ ЗАПОРНОГО КЛАПАНА ПУНКТА РЕДУЦИРОВАНИЯ ГАЗА С ПОСЛЕДУЮЩИМ ВЗРЫВОМ

Выявление опасностей в соответствии «Трудовым кодексом РФ» [1] осуществляется путём обнаружения, распознавания и их описания, включая источники, условия возникновения и потенциальные последствия при управлении рисками.

Вариофикация как системнологический приём заключается в выявлении последовательностей детерминированных и стохастических процессов в системе, перемежаемых событиями и происшествиями, приводящих к техногенному происшествию, за которым следуют вещественно-энергетические процессы опасного техногенного воздействия.

Предохранительный запорный клапан относится к основным компонентам пункта редуцирования, перекрывающим перемещение газа при недопустимом повышении или понижении давления за регулятором. Детерминированные и стохастические процессы в компонентах запорного клапана могут приводить к технетическому происшествию, состоящему в его разгерметизации, вызывающей процесс утечки природного газа в воздушный массив помещения.

Задача вариофикации процессов и событий при эксплуатации предохранительного запорного клапана состоит в следующем:

- 1) изучение конструкции запорного клапана и его компонентов с обозначением детерминированных целесообразных и сопутствующих, а также стохастических процессов и событий;
- 2) составление последовательности процессов, событий и условий их совместности, приводящих к техногенному происшествию «Возникновение ударной волны дефлаграционного взрыва» и следующих за происшествием эффектов взрывного воздействия;
- 3) визуализация вариофикационной модели с графическим представлением процессов, событий и условий их совместности.

*Д.Л. Сироткин, студ.; рук. Ю.М. Овсянников, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ФОРМИРОВАНИЕ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ БУДУЩИХ РАБОТНИКОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Термин «культура безопасности» впервые появился в итоговом докладе Международной консультативной группы по ядерной безопасности (МКГЯБ) на совещании по аварии в Чернобыле. МКГЯБ приводит следующее определение культуры безопасности: «Культура безопасности – это такой набор характеристик и особенностей деятельности организаций и поведения отдельных лиц, который устанавливает, что проблемам безопасности, как обладающим высшим приоритетом, уделяется внимание, определяемое их значимостью» [3].

Молодых специалистов атомной отрасли обучают основам культуры безопасности непосредственно на производств, а начинать подготовку по компетенциям безопасности непосредственно в ВУЗах.

Целями Госкорпорации «Росатом» в области культуры безопасности являются формирование и развитие особенностей деятельности организаций и поведения сотрудников, которые направлены на обеспечение высокого уровня безопасности, защиту людей и окружающей среды. Руководство Госкорпорации призывает работников, руководителей организаций атомной отрасли и взаимодействующих с ними подрядных организаций соблюдать принципы политики Культуры Безопасности и непосредственно участвовать в ее реализации.

Стоит рассмотреть возможность вовлеченности будущих работников АЭС в деятельность по формированию безопасности и поддержки ее всеми возможными способами. Необходимо обеспечить понимание каждым студентом влияния его будущей деятельности на безопасность, а также осознание возможных последствий.

Закладывая основы безопасного ведения производства еще на стадии обучения в ВУЗах, можно добиться повышения уровня безопасности на объектах атомной промышленности в целом.

Библиографический список

- 1. Основы культуры безопасности и ее развитие.** URL: <http://book.sarov.ru/wpcontent/uploads/2022/10/Prombezopasnost-20-4.pdf> (дата обр. 21.01.25)
- 2. Единая отраслевая политика.** – URL: http://www.niiar.ru/sites/default/files/politiki_v_oblasti_kb.pdf (дата обр. 21.01.25)
- 3. Культура безопасности.** Доклад международной консультативной группы по ядерной безопасности. – URL: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub882r_web.pdf (дата обр. 20.01.25)

*О.А. Лапина, студ.; рук. Е.А. Пышненко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ

В докладе мы рассмотрим современные системы контроля здоровья на предприятиях, которые включают различные методы и подходы, такие как регулярные медицинские осмотры, использование носимых устройств для мониторинга, и внедрение телемедицинских технологий. Оценка эффективности этих систем показывает, что они значительно снижают уровень заболеваемости и повышают производительность труда. Однако, существуют области для улучшения, такие как оптимизация графиков осмотров и внедрение более совершенных информационных систем для анализа данных.

Для эффективного контроля за здоровьем работников необходимо разработать оптимальные графики и программы медицинских осмотров. Важную роль играют медицинские специалисты, ответственные за проведение обследований и оценку состояния здоровья. Важно обеспечить доступ работников к качественным медицинским услугам и создать условия для регулярного прохождения осмотров.

Внедрение современных технологий, таких как телемедицина и носимые устройства, позволяет значительно улучшить мониторинг здоровья работников. Эти технологии обеспечивают постоянный сбор данных о состоянии здоровья, что позволяет своевременно выявлять отклонения и принимать необходимые меры.

Вредные производственные факторы, такие как химические, физические и биологические воздействия, оказывают значительное влияние на здоровье работников. Методы оценки этих факторов включают регулярные измерения и мониторинг условий труда. Минимизация рисков достигается путем внедрения защитных мер и улучшения условий труда.

Внедрение систем контроля за состоянием здоровья работников экономически выгодно. Затраты на медицинские осмотры и профилактические мероприятия окупаются за счет снижения заболеваемости, уменьшения количества больничных дней и повышения производительности труда. Кроме того, улучшение здоровья работников способствует снижению расходов на страхование и адаптации новых сотрудников.

Контроль за состоянием здоровья работников регулируется законодательными требованиями и нормативными актами.

*А.А. Корнува, студ.; рук. Ю.М. Овсянников, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВОПРОСЫ ОХРАНЫ ТРУДА ПРИ ДИСТАНЦИОННОЙ РАБОТЕ

Дистанционная (удалённая) работа – это форма трудовой деятельности, при которой сотрудники выполняют свои обязанности вне традиционного офисного пространства, используя современные информационные технологии для обмена данными и коммуникации.

Трудоустройство на удалённую работу, как правило, подразумевает удобные для работника режим и условия работы, в их бытовой трактовке, которые, однако, могут оказывать существенное негативное воздействие на здоровье работника в долгосрочной перспективе.

В работе рассмотрены организационные и психофизиологические особенности удалённой работы.

В первом случае – это организация эргономики рабочего места [2], его системы освещения [1] и менеджмент рабочего времени [3].

Во втором случае – это виртуальный формат общения [4], отсутствие переключения «работа/дом», снижение требований к уходу за собой, необходимость поддержания достаточного уровня физической активности.

Работники используют дистанционный формат в целях расширения географии потенциальных работодателей, повышения уровня заработной платы (относительно среднего уровня заработной платы в своём регионе), снижения расходов материальных и временных ресурсов на транспорт, работы в удобном и зачастую гибком графике.

В итоге можно говорить о стабилизации объёмов работ, выполняемых в дистанционном формате, и, как следствие, о важности рассмотрения вопросов охраны труда в этой области [5].

Библиографический список

- 1. СанПиН 1.2.3685-21** «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
- 2. СанПиН 2.2.2/2.4.134003** «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
- 3. «Трудовой кодекс Российской Федерации»** от 30.12.2001 № 197-ФЗ.
- 4. А.Б. Холмогорова** – «Общение в интернете и социальная тревожность у подростков из разных социальных групп» / А.Б. Холмогорова, Т.В. Авакян, Е.Н. Клименкова, Д.А. Малюкова / - М.: Филиал ФГБУ «ФМИЦПН имени В.П. Сербского» Минздрава России, 2015.

*И.А. Потапов студ.; рук. Ю.Ю. Рогожников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ

Измерение и анализ параметров вибрации на рабочих местах производственных предприятий проводится для повышения надежности работы оборудования, выявления потенциальных неисправностей, снижения риска профессиональных заболеваний работников и оптимизации производственных процессов.

Актуальность проекта обусловлена наличием рабочих мест, на которых вредные условия труда связаны с вибрационными воздействиями. Измерение вибрации на рабочем месте является важным аспектом охраны труда и обеспечения здоровья работников, особенно в отраслях, где вибрации могут являться значительным фактором риска.

Проблема, с которой сталкиваются потребители в промышленности и на производственных объектах, заключается в недостаточной информации о состоянии оборудования и уровнях вибрации на рабочих местах. Избыточная вибрация может свидетельствовать о возможных неисправностях в оборудовании, что приводит к снижению производительности, увеличению затрат на обслуживание и ремонт, а также повышает риск травмирования работников.

Измерения параметров вибрации производятся с помощью виброметра «АССИСТЕНТ V». Виброметр-анализатор спектра 1-го класса точности с первичной поверкой предназначен для измерения уровней виброускорения общей и локальной вибрации, а также проведения частотного анализа. Он соответствует 1-му классу точности по всем требованиям нормативных документов в области измерения и анализа параметров вибрации. Прибор выполнен в виде малогабаритного устройства с автономным питанием. На верхней торцевой стенке корпуса блока измерительного (БИ) прибора располагаются разъем для подключения предусилителя (ПУ) с микрофоном конденсаторным (МК) при работе в качестве шумомера анализатора спектра и разъемы для подключения вибропреобразователя (ВП) при работе в качестве виброметра анализатора спектра.

Предполагается, что результаты выполнения проекта по измерению параметров вибрации будут способствовать решению таких задач, как мониторинг состояния оборудования; анализ данных; формирование рекомендаций по обслуживанию оборудования; обеспечение безопасности работников.

*А.С. Силантьева, студ.; рук. Ю.Ю. Рогожников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШУМА

Исследование параметров шума предполагает измерение параметров шума, оценку уровней воздействия, сравнение их с допустимыми уровнями и выработку рекомендаций по защите от вредного воздействия шума. Исследование параметров шума и его воздействия на окружающую среду и здоровье человека имеет критическое значение для разработки эффективных методов контроля и снижения шума.

Проблема, с которой сталкиваются потребители в промышленности и на производственных объектах, заключается в недостаточной информации о состоянии оборудования и уровнях шумового воздействия на рабочих местах. Измерения и анализ параметров шума позволяют обеспечить безопасные условия труда, снижая вероятность профессиональных заболеваний, связанных с негативным воздействием шума на организм человека.

Измерение параметров шума осуществляется шумомером-анализатором «АССИСТЕНТ SI», который предназначен для измерения уровней звука (в том числе инфразвука и ультразвука) с разными частотами. Прибор позволяет измерять средние (эквивалентные), экспоненциально усредненные и пиковые уровни звука, инфразвука и ультразвука; уровни звукового давления в октавных и третьоктавных полосах частот в диапазонах звука, инфразвука и ультразвука. Характеристиками указанного шумомера являются высокая точность измерений, соответствие стандартам, широкий диапазон измерений, быстрая обработка данных, встроенная память, подключение к внешним устройствам, автономная работа, простота использования, сохранение настроек и другие дополнительные функции.

Исследование параметров шума на основе проведенных измерений и анализа позволяет выявить потенциальные риски для здоровья человека, устранить или минимизировать вредное воздействие шума, выявить проблемные участки на производстве и принять меры для обеспечения безопасности работников.

*А.М. Сидорова, студ.; рук. И.В. Еремин, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСОСКЕЛЕТОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА И УСЛОВИЙ ТРУДА СПЕЦИАЛИСТОВ ПО СВАРОЧНЫМ РАБОТАМ

Современные технические и производственные процессы на предприятии требуют от работников поднятия и перемещения тяжелых грузов, что приводит к утомляемости, болям в спине и суставах, повышенному риску возникновения травматизма.

Промышленный экзоскелет - носимое на человеке средство индивидуальной защиты опорно-двигательного аппарата, компенсирующее и (или) перераспределяющее нагрузку на опорно-двигательный аппарат [1].

Специалисты, выполняющие сварочные работы, зачастую работают в статических позах полуприседа и наклона, что приводит к повышенному риску травматизма. Допускается до 25% времени смены, нахождение в неудобной и (или) фиксированной позе [2]. Экзоскелет помогает поддерживать правильную осанку и облегчает операции по перемещению и поднятию тяжелых деталей, что позволяет работать более эффективно, снижая физические затраты и увеличивая производительность труда.

Экономическая эффективность внедрения экзоскелетов:

1. Применение экзоскелетов позволяет работникам выполнять больше задач за меньшее время.
2. Повышение качества сварочных работ.
3. Улучшение кадрового состава благодаря внедрению новых современных технологий.

Экономическая целесообразность внедрения экзоскелетов связана с увеличением эффективности труда, а также с улучшением производительности и качества выпускаемой продукции. Внедрение экзоскелетов уменьшит число производственных травм, что в итоге способствует росту прибыли и конкурентоспособности компании.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 12.4.306-2023 «Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты опорно-двигательного аппарата. Экзоскелеты промышленные. Классификация. Термины и определения».
2. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

*Е.А. Логашова студ., рук. А.Г. Горбунов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ШУМА

При измерении шума на рабочих местах, в соответствии с требованиями ГОСТ 9612-2012 с использованием стратегии на основе рабочей операции, при измерении шума для каждой операции требуется производить не менее трех измерений. Для достаточности трех измерений разница между максимальным и минимальным значениями зарегистрированных результатов не должна превосходить 3,5 дБА. Кроме того, для повышения достоверности полученных результатов наблюдений, требуется каждое измерение производить в течении не менее 5 минут, или не менее продолжительности самой операции. При этом совершенно не учитываются возможности самого прибора, современный вариант которого позволяет в ряде случаев значительно повысить как точность измерений, так и достоверность полученных результатов.

При переключении современных шумомеров в режим измерения эквивалентного уровня звука, на экран дисплея выводится не только значение эквивалентного уровня звука за измеряемый период, но и его дисперсия за последние 5 секунд. Ее значение можно трактовать как отклонение мгновенного значения уровня звука в i -м измерении от эквивалентного уровня звука. Учитывая, что реально слуховой анализатор воспринимает как равногромкие звуки, уровни звукового давления которых различаются не более чем на 0,5 дБА, можно предложить несколько измененный метод измерения эквивалентного уровня звука в каждой операции, который сэкономит время и обеспечит высокую точность. Он заключается в следующем.

После начала измерения эквивалентного уровня звука очередной операции визуально регистрируют не только его значение на экране дисплея, но и значение ΔL_{eq} , расположенное ниже. Если измеряемый шум данной операции достаточно стабилен, то значение ΔL_{eq} будет непрерывно уменьшаться. Как только значение ΔL_{eq} станет не больше 0,5 дБА измерительный эксперимент можно прекращать, поскольку будет обеспечена наивысшая точность измерений шума данной операции.

*Е.Е. Чистякова, студ.; рук. Е.А. Пышненко к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЫБОР СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ В СООТВЕТСТВИИ С ЕДИНЫМИ ТИПОВЫМИ НОРМАМИ

В условиях современного производства, где работники сталкиваются с различными профессиональными рисками, средства индивидуальной защиты (СИЗ) становятся неотъемлемой частью обеспечения безопасности труда. Правильный выбор и использование СИЗ не только помогают предотвратить травмы и профессиональные заболевания, но и способствуют повышению эффективности работы, создавая комфортные условия на рабочем месте.

Актуальность темы исследования обусловлена изменениями в нормативно-правовой базе, регулирующей выдачу СИЗ и смывающих средств. В данном докладе проведен анализ изменений новых правил, установленных приказом N 766Н [1] и вступившие в силу с 01.09.2023, с ранее действовавшим приказом N 290Н [2]. Были выявлены ключевые изменения, нововведения и их влияние на организацию обеспечения работников СИЗ. Новые правила N 766Н ужесточили требования к выдаче СИЗ, что делает их более эффективными для обеспечения безопасности работников. На основании Единых типовых норм (ЕТН) [3] и результатов специальной оценки условий труда (СОУТ) были определены полные перечни необходимых СИЗ и дерматологических средств для обеспечения безопасности машиниста-обходчика турбинного оборудования Смоленской АЭС.

Библиографический список

1. Приказ Минтруда РФ от 29.10.2021 N 766Н «Об утверждении Правил обеспечения работников средствами индивидуальной защиты и смывающими средствами» (Зарегистрирован 29.12.2021 N 66670) [Электронный ресурс] - <https://docs.cntd.ru/document/727092798>
2. Приказ Минздравсоцразвития РФ от 01.06.2009 N 290Н «Об утверждении Межотраслевых правил обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты» (Зарегистрирован 10.09.2009 N 14742) [Электронный ресурс] – <https://docs.cntd.ru/document/902161801>
3. Приказ Минтруда РФ от 29.10.2021 N 767Н «Об утверждении единых типовых норм выдачи средств индивидуальной защиты и смывающих средств» (приложение 1 (часть2), приложение 2, приложение3)

*Е.С. Логаинова, студ.; рук. А.К. Соколов., д.т.н., проф.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ ФЗ № 174 «ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ»

В редакцию Федерального закона N 174-ФЗ от 23 ноября 1995 г. [1] к редакции 2024 г. [2] внесено около 60 правок из других изменяющих документов в основном Федеральных законов.

Внесенные изменения направлены на оптимизацию и повышение эффективности процедуры экспертизы.

Среди основных изменений можно отметить следующие.

Инициировать и проводить общественную экологическую экспертизу, кроме общественные объединений, могут негосударственные некоммерческие организации (п.1 статья 9).

Изменены условия действия положительного заключения государственной экологической экспертизы, которые учитывают начало строительства или реконструкции объекта в период действия положительного заключения (п. 5 статья 12).

Заключение государственной экологической экспертизы (положительное или отрицательное) одобряется не менее чем двумя третями списочного состава экспертной комиссии и подписывается всеми ее членами.

Состав и содержание заключения государственной экологической экспертизы устанавливаются федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере природопользования, охраны окружающей среды п. (п. 1 статья 18).

Уточнены условия, при которых положительное заключение государственной экологической экспертизы теряет юридическую силу в случае реализации документов с отступлениями от положительного заключения государственной экспертизы (п. 5 статья 18).

Установлены сроки включения сведений о заключении экспертизы проектной документации в единый государственный реестр объектов капитального строительства.

Указаны общественные объединения и другие негосударственные некоммерческие организации, а также граждане, которые не вправе инициировать и проводить общественную экологическую экспертизу.

Библиографический список

- 1. Федеральный закон** от 23.11.1995 N 174-ФЗ «Об экологической экспертизе».
- 2. Федеральный закон** от 23.11.1995 N 174-ФЗ (ред. от 08.08.2024).

*Д.Е. Макаров, студ.; рук. Ю.М. Овсянников, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗВИТИЕ ПРИНЦИПОВ «ЗЕЛЁНОЙ» ЭКОНОМИКИ В РОССИИ

Принципы «зелёной» экономики предполагают снижение выбросов углеродных соединений, рециркуляцию используемых ресурсов за счёт переработки и повторного использования отходов, стремление к сохранению биологического разнообразия, внедрение инновационных технологий на всех этапах производства, использования и утилизации продукции.

Развитие «зелёной» экономики в России получило существенный импульс лишь в 2000-х годах после подписания Киотского протокола в 2004 году.

В 2013 году была утверждена «Государственная программа «Охрана окружающей среды» на 2012–2020 годы» [1], направленная на улучшение экологической ситуации, снижение выбросов, защиту водных объектов, лесовосстановление и развитие экологического образования.

В 2019 году Россия ратифицировала Парижское соглашение, а в 2021 году утвердила «Стратегию социально-экономического развития с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» [2], поставив цели по снижению выбросов на 30% к 2030 году и достижению углеродной нейтральности к 2060 году. Данная стратегия включает переход на возобновляемые источники энергии, модернизацию промышленности, развитие экологичного транспорта, сохранение лесов и адаптацию к изменению климата.

Технический прогресс является основой в развитии «зелёной» энергетики, но, тем не менее, остаются актуальными вопросы зависимости экономики от ископаемого топлива и недостаточности инвестиций в возобновляемую энергетику.

Внедрение принципов «зелёной» экономики определяет рост доли солнечной, ветровой и атомной энергетики в энергетике в целом.

Библиографический список

1. Государственная программа Российской Федерации «Охрана окружающей среды» на 2012 – 2020 годы. – С.3-5.

*А.В. Петров студ.; рук. Ю.Ю. Рогожников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТНИКОВ СРЕДСТВАМИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Средство индивидуальной защиты (СИЗ) – средство, используемое для предотвращения или уменьшения воздействия на работника вредных и (или) опасных производственных факторов, особых температурных условий, а также для защиты от загрязнения.

Единого перечня СИЗ с разбивкой на классы нет. Общие требования к СИЗ и их классификация установлены ГОСТ Р 59123-2020. В зависимости от степени риска причинения вреда пользователю СИЗ бывают первого и второго классов.

На предприятиях в целях обеспечения работников СИЗ должны быть разработаны правила обеспечения работников СИЗ, которые утверждаются локальным нормативным актом предприятия. В локальном нормативном акте должны быть предусмотрены порядок выявления потребности работников в СИЗ, плановый характер закупки (аренды) СИЗ, порядок выдачи, использования, контроля качества, хранения, обслуживания, утилизации СИЗ, порядок информирования работников, ответственность руководителей структурных подразделений, которые обеспечивают работников СИЗ. Локальный нормативный акт должен быть согласован с первичной профсоюзной организацией. Работники должны быть ознакомлены с ним под подпись.

Нормы выдачи СИЗ работодатель должен разработать на основе Единых типовых норм (ЕТН), а также утвердить их локальным нормативным актом. Единые типовые нормы предполагают минимальный объём СИЗ, которые работодатель обязан выдать работникам. Работодатель может выбирать виды и конструкции СИЗ, которые больше соответствуют условиям труда работников, с учётом проведенной специальной оценки условий труда (СОУТ) и оценки профессиональных рисков (ОПР). Нормативные сроки эксплуатации СИЗ не могут превышать сроков, указанных в нормах выдачи, которые приняты в организации. Порядок испытаний СИЗ в организации нормативно не урегулирован. Работодатель обязан разработать и утвердить локальным нормативным актом перечень СИЗ, подлежащих испытаниям и (или) проверке.

*П.А. Комарова, А.Д. Селиверстова, студ.;
рук. Е.А. Пышненко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОИЗВОДСТВО БИОРАЗЛАГАЕМЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ БИОМАССЫ БОРЩЕВИКА

В условиях глобальных экологических вызовов и растущих экономических проблем поиск инновационных решений становится жизненно необходимым. Одной из таких перспективных инициатив является производство биоразлагаемых упаковочных материалов из биомассы борщевика — проекта, способного изменить подход к производству упаковки и внести значительный вклад в защиту окружающей среды. В докладе рассматриваются перспективы использования технологии производства бумажной продукции из растений-сорняков.

Современная экономика сталкивается с двумя взаимосвязанными проблемами:

1. Нехватка традиционных сырьевых ресурсов, таких как древесина для производства бумаги. Это обострено геополитическими и логистическими проблемами, увеличивающими стоимость бумаги и делая её менее доступной для среднего и малого бизнеса.

2. Экологическое воздействие: массовая вырубка лесов, накопление трудноразлагаемых отходов и рост инвазивных видов растений, таких как борщевик Сосновского [1].

Борщевик стал настоящей экологической катастрофой: агрессивно распространяясь, он разрушает биоценозы, отравляет сельскохозяйственные земли и представляет угрозу для здоровья человека. Предлагаемое нами решение основано на переработке биомассы борщевика в сырьё для биоразлагаемых упаковочных материалов. Такой подход позволяет не только устранить экологические риски, связанные с распространением этого растения, но и создать экономически выгодный продукт. Это не только шаг к минимизации угроз от борщевика, но и способ стимулировать развитие отечественной промышленности, ориентированной на экспорт и экологические стандарты.

Библиографический список

1. Шестаков Д. И., Минакова А. Р. Исследование возможности использования борщевика Сосновского как сырья для производства целлюлозы // Матер. XVI Всеросс. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. — УЛТИ, 2020. — С. 43–48.

*Д.Е. Кочурин, П.А. Комарова, студ.; рук. А.К. Соколов., д.т.н., проф.
(ИГЭУ. г. Иваново)*

ОБ ИСЧИСЛЕНИИ ПЛАТЫ ЗА НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Плата за негативное воздействие на окружающую среду взимается, в том числе за хранение, захоронение отходов производства и потребления (размещение отходов) в соответствии со ст. 16 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». После 2002 г. в ФЗ № 7 было внесено несколько изменений и ссылок на другие ФЗ.

Нормативы платы и коэффициенты к нормативам платы за выбросы, сбросы загрязняющих веществ и размещение отходов производства и потребления установлены документами [1, 2]. Ставки платежей в зависимости от инфляции изменялись отдельными постановлениями Правительства РФ. На 2024 и 2025 коэффициент инфляции по отношению к ставкам 2003 г. составляет 3,52 [3].

Правила исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду после 2003 г. также несколько раз обновлялись. Новое постановление о правила исчисления платежей N 881 (на 33 стр.) [4] вступило в силу с 1 сентября 2023 г. и будет действовать до 1 сентября 2029 г. Для платежа за размещение твердых коммунальных отходов в [4] установлены отдельные формулы.

В постановлениях [2, 4] в формулы для исчисления платежей введены различные уточняющие коэффициенты, которые усложняют процедуру расчета, так как некоторые их значения даны в ФЗ № 7.

Для упрощения исчисления платежей за негативное воздействие на окружающую среду, на наш взгляд, целесообразна разработка более четкого алгоритма и специальных программных средств.

Библиографический список

- 1. Постановление** Правительства РФ от 12.06.2003 № 344 «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления».
- 2. Постановление** Правительства РФ от 19.11.2014 N 1219 «О коэффициентах к нормативам платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, в том числе через централизованные системы водоотведения, размещение отходов производства и потребления».
- 3. Постановление** Правительства РФ от 17 апреля 2024 г. N 492 «О применении в 2024 и 2025 годах ставок платы за негативное воздействие на окружающую среду».
- 4. Постановление** Правительства РФ от 31 мая 2023 г. N 881 «Об утверждении правил исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду»

*Д.А. Горячев студ.; рук. Ю.Ю. Рогожников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УЧЁТ И РАССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТРАВМ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Микротравмы – полученные при выполнении трудовых обязанностей ушибы, ссадины и другие повреждения, не повлекшие нетрудоспособности работника. Работодатели обязаны вести учёт микротравм, рассматривать причины и обстоятельства их получения.

Работодателю рекомендуется самостоятельно разработать порядок учета и расследования микротравм на основании рекомендаций Минтруда и утвердить локальным нормативным актом.

Основанием для расследования является обращение пострадавшего работника к непосредственному или вышестоящему руководителю, медработнику организации. Руководитель должен убедиться, что пострадавший получил необходимую медицинскую помощь.

Учет микротравм можно вести в соответствующем журнале. Результаты расследования рекомендуется отражать в соответствующей справке, форма которой также рекомендована Минтрудом.

Учёт микротравм призван предупредить опасности и минимизировать возможные повреждения работников. Организованные на предприятии учёт и расследование микротравм позволят работодателю повысить эффективность в проведении системных мероприятий по управлению профессиональными рисками, связанными с выявлением опасностей, оценкой и снижением уровней профессиональных рисков, в обеспечении охраны труда на производстве. Если из-за травмы работник не может работать, и вынужден взять больничный, то такая травма не может считаться микротравмой.

Непосредственный руководитель пострадавшего сообщает в службу охраны труда сведения о пострадавшем и микротравме. Специалист по охране труда в течение трёх календарных дней должен рассмотреть обстоятельства и причины, которые привели к микротравме. В процессе расследования запрашивается объяснение пострадавшего, осматривается место происшествия, при необходимости проводится опрос очевидцев, результаты расследования фиксируются в справке и журнале.

СЕКЦИЯ 12
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ

Председатель –
д.т.н., профессор **Тихонов А.И.**

Секретарь –
аспирант **Фадеева М.С.**

*М.С. Фадеева, асп.; А.И. Тихонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Методы расчета тепловых полей в технических системах, учитывающие движение охлаждающих сред, основаны на численном решении уравнений Навье – Стокса. Реализация данного подхода, даже при упрощенных граничных условиях, требует использования, например метода конечных элементов или метода конечных разностей, что сопряжено со значительными вычислительными затратами.

Интеграция теории подобия и методов имитационного моделирования, является альтернативным подходом к решению технических задач с целью снижения вычислительной сложности и упрощения моделируемых систем [1].

В ходе работы разработан алгоритм расчета и визуализации термодинамической системы в пакете прикладных программ MATLAB, где в рамках предлагаемого подхода термодинамическая система рассматривается на микроскопическом уровне. Текущая охлаждающая среда (газ) моделируется как совокупность структурных элементов (молекул). Каждой молекуле ставится в соответствие виртуальный объект (частица), движущийся в виртуальном пространстве в соответствии с законами классической механики. Множество таких частиц, динамически взаимодействующих в реальном времени, формируют имитационную модель термодинамической системы. В контексте исследования термодинамическая система определяется как совокупность физических тел, взаимодействующих между собой и окружающей средой посредством обмена энергией.

Предложенный подход, основанный на интеграции теории подобия и методов имитационного моделирования, представляет собой перспективное направление в области моделирования тепловых полей с учетом движения охлаждающих сред. Дальнейшие исследования в этой области позволят разработать эффективный инструмент для анализа и оптимизации тепловых режимов сложных технических устройств.

Библиографический список

1. Веников В.А., Веников Г.В. Теория подобия и моделирования: Применительно к задачам электроэнергетики. Изд. стереотип. – М.: URSS, 2022. – 440 с.

*М.С. Фадеева, асп.; А.И. Тихонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Свободная (естественная) конвекция является механизмом, широко используемым в технических системах для обеспечения отвода тепла, поддержания температурного режима и нормального функционирования оборудования. Движение среды в таком случае обусловлено разностью плотностей, возникающей из-за разницы температур в среде, представляя собой сложный характер физического процесса.

Моделирование свободной конвекции сопряжено с необходимостью корректного описания явления посредством системы уравнений, включающей уравнения Навье – Стокса, описывающие движение жидкости, уравнение энергии, определяющее теплоперенос, уравнение непрерывности, обеспечивающее сохранение массы, и уравнение состояния [1].

Особенности численного моделирования связаны с комплексом условий. 1. Корректное описание явления плавучести, для упрощения решения уравнений гидродинамики применяется приближение Буссинеска, которое предполагает значимость изменения плотностей только в части уравнения, отвечающей за силу плавучести [2]. 2. Выбор сетки модели, обеспечивающей устойчивость решения задачи. 3. Учет характера течения рабочей среды. 4. Постановка граничных условий для температуры и скорости, для получения адекватных результатов моделирования. 5. Использование строгих критериев сходимости решения.

При рассмотрении физической модели перечисленные условия требуют тщательного и осознанного подхода. Корректное описание параметров является важным для обеспечения точности и надежности получаемых результатов.

Обязательным этапом является проверка полученных данных. В простых случаях результаты моделирования могут быть сопоставлены с аналитическими решениями. Более надежным подходом является сравнение с экспериментальными данными.

Библиографический список

- 1. Веников В.А., Веников Г.В.** Теория подобия и моделирования: Применительно к задачам электроэнергетики. Изд. стереотип. – М.: URSS, 2022. – 440 с.
- 2. Дрейцер, Г.А.** Теплообмен при свободной конвекции: Учеб. пособие / Г.А. Дрейцер; М-во образования Рос. Федерации. Моск. авиац. ин-т (гос. техн. ун-т). — Москва: Изд-во МАИ, 2002. — 97 с.

*Д.М. Баранов, К.С. Спичкин студ.; рук. М.С. Фадеева, асс.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ MS EXCEL В ФИЗИЧЕСКОМ ПРАКТИКУМЕ ПО ОПТИКЕ

В современном мире, где экспериментальные исследования играют ключевую роль в развитии науки и технологий, умение грамотно обрабатывать полученные данные становится неотъемлемой частью профессиональной подготовки специалистов технических специальностей. Экспериментальные данные служат основой для построения физических моделей и формирования понимания окружающего мира.

Экспериментальные измерения неизбежно подвержены влиянию погрешностей, как случайных, так и систематических, что вносит искажения в результаты исследований и приводит к ошибочным выводам. Таким образом, обучение студентов основам обработки экспериментальных данных с использованием современных вычислительных средств, является крайне важным.

Физический практикум по оптике предоставляет студентам возможность освоить умения, необходимые для анализа и интерпретации данных, полученных в ходе лабораторных работ. Использование программного обеспечения, такого как MS Excel, позволяет визуализировать данные в виде графиков и диаграмм, что способствует выявлению закономерностей, эмпирическому подтверждению теоретических положений и углубленному пониманию изучаемых оптических явлений.

MS Excel представляет собой широко распространенный и интуитивно понятный инструмент, обеспечивающий доступный и эффективный способ освоения ключевых навыков обработки данных без необходимости углубленного изучения программирования или специализированных статистических пакетов [1].

В ходе работы разработана электронная таблица в MS Excel, преимуществами которой, являются: хранение в одном файле и удобный ввод данных, автоматизация расчетов, визуализация, анализ данных с помощью встроенных функций, возможность повторного использования.

Библиографический список

1. Кравченко Н.С. Методы обработки результатов измерений и оценки погрешностей в учебном лабораторном практикуме : учебное пособие / Н.С. Кравченко, О.Г. Ревинская ; Томский политехнический университет. – 2-е изд., перераб. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 120 с.

*В.Е. Розин, асп.; А.И. Тихонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОЗДАНИЕ РАСЧЕТНОЙ ПОДСИСТЕМЫ САПР ТРАНСФОРМАТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

В настоящее время в условиях непрерывного развития и усложнения технических устройств все более актуальным становится применение специализированных систем автоматизированного проектирования (САПР).

В рамках данной работы мы рассматриваем создание расчетной подсистемы САПР, предназначенной для проектирования однофазных и трехфазных трансформаторов малой мощности. Потребность в таких устройствах постоянно возрастает. Отличительной особенностью нашей системы является применение генетических алгоритмов для поиска оптимального решения. Кроме того, используются передовые научные методы моделирования электротехнических устройств, основанные на теории нелинейных цепей.

Электрический расчет осуществляется на основе построения магнитных цепей, что дает возможность расчета параметров как для цилиндрических обмоток, так и для катушек прямоугольной формы. Индуктивность обмотки рассчитывается в соответствии с выражением (1), а индуктивность рассеяния по выражениям (2-5).

$$L_k = \frac{w_k^2}{R_{mk}} + L_{\sigma k} \quad (1)$$

$$L_{\sigma ii} = \mu_0 R_i \left(\ln \left(\frac{8R_i}{r} \right) - \frac{7}{4} \right) \quad (2)$$

$$L_{\sigma ij} = \mu_0 \sqrt{R_i R_j} \left[\left(k - \frac{2}{k} \right) K(k) + \frac{2}{k} E(k) \right] \quad (3)$$

$$L_{\sigma k} = \frac{\mu_0}{\pi} \left(a \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot a \cdot b}{r \cdot (a + \sqrt{a^2 + b^2})} \right) + b \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot a \cdot b}{r \cdot (b + \sqrt{a^2 + b^2})} \right) + \right. \\ \left. + 2 \cdot (r + \sqrt{a^2 + b^2} - (a + b)) \right) \quad (4)$$

Заключительным этапом работы САПР является процесс оптимизации проектируемого устройства, реализуемый пакетом MatLab.

*Н. А. Иванов, студ.; рук. А. А. Сатаев, к.т.н.
(НГТУ, Нижний Новгород)*

СРАВНИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО И ЖАЛЮЗИЙНЫХ СЕПАРАТОРОВ

Благодаря современным программным комплексам и инновационным методам производства, упростился процесс оптимизации отдельных элементов или установок в целом, что позволяет повысить их эффективность и надежность.

В данной работе было проведено расчетное моделирование сепарации частиц жидкости в потоке воздуха, в односекционных жалюзийных сепараторах с различной геометрией, и в центробежном сепараторе. Вариации геометрии приведены на рисунке 1. Исследование было проведено с помощью прикладного пакета Solidworks Flow Simulation. Расчет производился для усреднённых частиц воды с диаметром 7 мкм и с массовым расходом капель жидкости 0,5 г/сек.

Результаты сепарации и эффективность сепарации по сравнению с центробежным сепаратором будет приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Виды сепараторов и рабочие характеристики

№ элемента на рис. 1	Геометрия поверхности (тип устройства)	% сепарации	эффективность сепарации по сравнению с 1
1	Центробежный сепаратор	45,84%	1
2	Плоские пластины	13,68%	0,298
3	Пластины с треугольным профилем	35,00%	0,764
4	Пластины с синусоидальным профилем	31,52%	0,688
5	Пластины с трехмерным синусоидальным профилем	42,40%	0,925

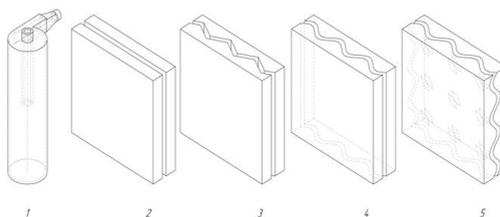


Рисунок 1 – Варианты исполнения

В ходе расчетного исследования, лучшими конструкциями, по степени сепарации являются 3 и 5. Сепаратору №5 удалось максимально близко приблизиться по сепарации к центробежному сепаратору.

*К.А. Фертюв, студ.; рук. И.П. Игошин, к.ф.-м.н., доц.
(ИГЭУ г. Иваново)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА»

Совершенствование традиционного лабораторного практикума, учитывающее изменение уровня школьной подготовки студентов младших курсов и учебных программ университета, несомненно, является необходимым и важным аспектом учебно-методической работы.

В качестве объекта модернизации выбрана одна из наиболее важных лабораторных работ по физике из разделов «Первый закон термодинамики идеального газа» и «Классическая теория теплоемкости идеального газа». Эти разделы преподаются уже на первом курсе для всех направлений и профилей обучения. Такая лабораторная работа обязательно выполняется на кафедре физики ИГЭУ. Она имеет индекс 2.2 и называется «Изучение первого начала термодинамики. Определение коэффициента Пуассона по методу Клемана–Дезорма» [1].

Авторами внесены изменения в разделы «Теоретическое введение» и «Методика обработки экспериментальных результатов» имеющихся методических указаний к выполнению этой лабораторной работы. На этапе апробирования новых методических указаний предлагается:

- вывод уравнения адиабатного процесса выполнить сразу в параметрах p , V , что лучше соответствует методике эксперимента;
- в выводе расчетной формулы решение степенного уравнения предлагается реализовать методом логарифмирования, который изучается в школьной программе математики;
- для вычисления коэффициента Пуассона использовать формулу для расчёта гидростатического давления и экспериментальное значение атмосферного давления;
- сохранить вывод расчетной формулы методом приближенных вычислений с использованием разложения в ряд.

В лабораторном стенде в качестве сосуда предлагается использовать жесткую бутылку из полиэтилена. Такие бутылки используются для питьевой воды (20 л). Они дешевле и безопаснее стеклянных бутылей. Ручной механический компрессор предлагается заменить на маломощный электрический (используется для аэрации воды в аквариумах).

Библиографический список

1. Костюк, В.Х. Методические указания к лабораторным работам по молекулярной физике и термодинамике [М-223] / В. Х. Костюк, Г. А. Шмелева ; Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина", Каф. физики; под ред. В. К. Ли-Орлова. Иваново, 2006. 32 с : ил.

*М.А. Дудина, А.М. Самойлов; рук. В.В. Андреев, д.т.н., проф.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Н. Новгород)*

РЕШЕНИЕ ВЕРИФИКАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООБМЕННИКА В СРЕДЕ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ SIMINTECH

Теплогидравлические расчеты оборудования при проектировании технических систем производятся посредством программных продуктов, которые позволяют моделировать различные физические процессы. Примером такого программного средства является среда разработки математических моделей SimInTech (SIT).

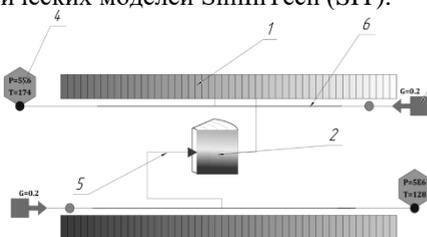


Рисунок 1 - Нодализация схема противоточного теплообменника: 1 – блок визуализации распределения температуры в канале, 2 – модель цилиндрической стенки, 3 – блок подпитки, 4 – граничное условие, 5 – тепловая связь, 6 – модель канала.

Целью работы является определение основных параметров противоточного теплообменника в SIT. Для решения поставленной задачи была построена нодализация схема, изображенная на рисунке 1. Нодализация схема представляет собой совокупность расчетных элементов, на которые разбита моделируемая система [1]. Сравнение результатов моделирования производится с аналитическим расчетом теплообменного аппарата, выполненным в соответствии с отраслевыми рекомендациями [2]. Сопоставление проводилось по следующим ключевым параметрам: мощность теплообменника, коэффициенты теплоотдачи теплоносителей, конечные температуры теплоносителей.

В результате была получена удовлетворительная корреляция результатов моделирования в SIT и аналитического решения задачи определения характеристик противоточного теплообменника. Следовательно, SIT позволяет с инженерной точностью моделировать теплофизические процессы в теплообменных аппаратах.

Библиографический список

1. Щекатуров А.М., Корсаков А.Р.: Методика моделирования динамики паротурбинной установки ТК-35/38-3,4 на базе кода HS-ДМК-Пресс. 2022

В.В. Елисеев, маг., В.М. Гресева, маг.;

рук. Н.Г. Демьянцева, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГРЕВА ВОДЫ В СОСУДЕ

В современной энергетике широко используются различные пароводяные сосуды под давлением. В связи с этим актуальна задача математического моделирования термодинамических и теплогидравлических процессов в них.

В данной работе представлена имитационная модель физических процессов пароводяного сосуда [1]. Проведён физический эксперимент: нагревание воды комнатной температуры до состояния кипения, результаты подтверждены компьютерным моделированием (рис. 1).

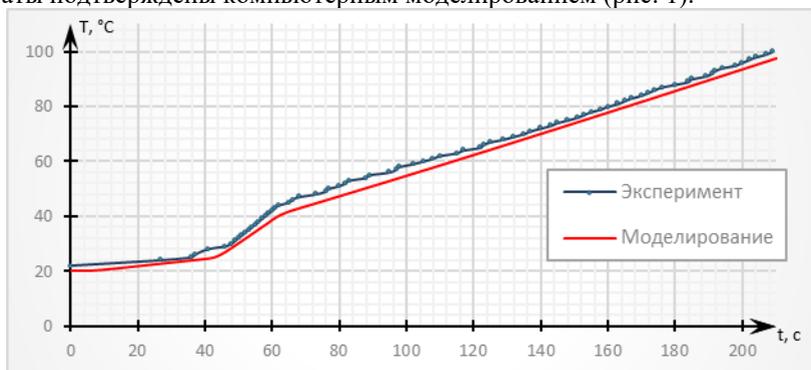


Рис. 1. Подтверждение натурального эксперимента численным моделированием

Разработанная модель позволяет наблюдать за параметрами воды: давление, температура, масса. Модель реализована в среде компьютерного моделирования — SimInTech.

Результаты данного исследования могут быть использованы для моделирования сложных теплогидравлических процессов в ядерной энергетике [2], а также в учебных целях.

Библиографический список

- 1. Елисеев, В.В.** Разработка универсальной математической модели физических процессов в пароводяном сосуде / В.В. Елисеев, Т.Е. Созинова // Проблемы современной теплоэнергетики: сборник трудов Междунар. науч.-техн. конф., Липецк, 06.12.2024 года. – Казань: ООО "Бук", 2024. – С. 89-96. – EDN GIVQKM.
- 2. Елисеев, В.В.** Имитационная модель пароводяного компенсатора давления / В.В. Елисеев, А.Н. Никоноров // XIX всероссийская (XI междунар.) науч.-техн. конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, Иваново, 14–16 мая 2024 года. – Иваново: ИГЭУ им. В.И. Ленина, 2024. – С. 12. – EDN EZNXTG.

*А.С. Чупина, студ.; рук. М.С. Фадеева, асс.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ КОНУСА ИЗЛУЧЕНИЯ ВАВИЛОВА-ЧЕРЕНКОВА

Излучение Вавилова-Черенкова (ИВЧ) представляет собой электромагнитное излучение, возникающее при движении заряженной частицы в прозрачной среде со скоростью, превышающей фазовую скорость света в данной среде [1]. Изучение ИВЧ остается актуальным по ряду причин, охватывающих как фундаментальные научные исследования, так и широкий спектр прикладных задач [2].

В рамках учебного процесса эффективным методом представления физических явлений является их визуализация, которая позволяет сделать процесс обучения более наглядным и интересным, что способствует лучшему пониманию материала.

В ходе работы разработан код на языке MatLab, демонстрирующий конус ИВЧ, используя основные параметры: показатель преломления среды, относительная скорость частицы, угол испускания излучения. Также реализована упрощенная оценка числа фотонов, генерируемых на заданном расстоянии.

Визуализация сложного для восприятия явления, связанного с релятивистскими эффектами и электромагнитным излучением помогает студентам структурировать теоретические знания. Выполнение практических заданий в созданной программе с возможностью изменения параметров (скорость частицы, показатель преломления), повышает вовлеченность и интерес к изучаемому материалу. Кроме изучения теоретических вопросов, также развиваются умения численного моделирования и программирования.

Работа студентов с компьютерными моделями помогает развить физическую интуицию, понять взаимосвязи между различными параметрами системы. Обработка и анализ результатов экспериментов развивают критическое мышление и способность делать выводы на основе полученных данных, что важно для будущих высококвалифицированных специалистов.

Библиографический список

- 1. Вопросы современной экспериментальной и теоретической физики** : К 80-летию со дня рождения Ю. Б. Харитона : Сб. науч. тр / АН СССР, Отд-ние ядер. физики ; Отв. ред. А. П. Александров. — Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1984. — 364 с.
- 2. Математическое моделирование черенковского излучения, генерируемого потоком бета-частиц** / М. Е. Жуковский [и др.] // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2020. № 60. 15 с.

*И.М. Корешкова, студ.; рук. А.И. Тихонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ RLC-ЦЕПИ В MATLAB SIMULINK SIMPOWERSYSTEMS

На рис. 1 приведены варианты линейной RLC-цепи, в которой один из элементов (R, L, C) представлен схемой замещения. Данные схемы строятся на основе управляемых источников тока и ЭДС в соответствии с условиями

$$I = \frac{1}{L} \int_0^t u_L dt, \quad I = \frac{u_R}{R}, \quad \varepsilon_C = -\frac{1}{C} \int_0^t idt.$$

На рис. 2а приведены 4 совпавшие кривые, полученные на первых 4-х моделях. Совпадение кривых говорит о корректности схем замещения.

Данный способ можно использовать для моделирования нелинейных элементов. В частности, на рис. 2,б приведена кривая переходного процесса в цепи с нелинейной L, представленной кривой намагничивания $\Psi(i)$.

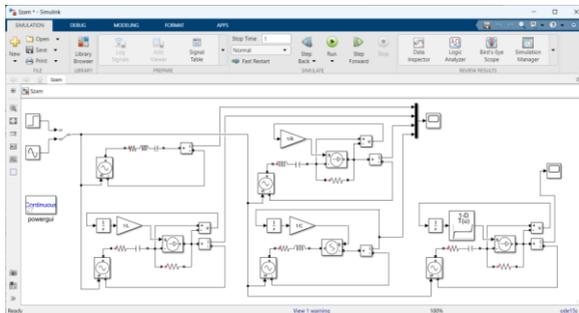


Рис. 1. Модель RLC-цепи в MatLab SimPowerSystems

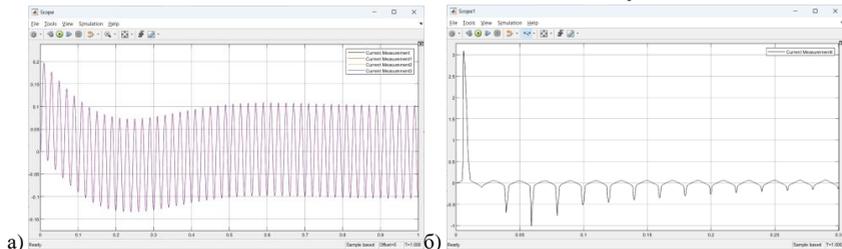


Рис. 2. Результаты моделирования линейной и нелинейной RLC-цепи

*Ю.А. Барышев, студ.; рук. Г.А. Шмелева, к.п.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ФИЗИКА В ПРОФИОРИЕНТАЦИИ ШКОЛЬНИКОВ «АТОМКЛАССОВ»

Атомклассы — это проект Госкорпорации «Росатом» для повышения подготовки в области естественных наук и математики, обучающихся в школах. Данная инициатива даёт возможность более глубокого изучения предметов, что позволяет лучше подготовиться к поступлению в технические вузы. Имея серьёзную базу, школьникам будет проще обучаться в высшем учебном заведении. Атомклассы являются специальными профильными классами, в которых обеспечивается более высокий уровень физико-математической подготовки.

Одной из особенностей обучения в Атомклассах является развитие проектной и исследовательской работы учеников. Кроме того, программа призвана привить школьникам ценности, принятые в «Росатоме», такие как эффективность, умение работать в команде, уважение, ответственность и стремление к лидерству. В конце обучения школьниками может быть защищён проект, который подтвердит успешное окончание Атомкласса.

Ранее на базе Ивановского государственного энергетического университета им. В.И. Ленина стартовала «Школа инженерного лидерства» (ШИЛ). Опыт обучения в ШИЛ в 2023-2024 гг. показал, что разделение на предметные группы (математика, информатика, физика) способствовало вовлечению в процесс обучения, развитию умений работать в команде. Таким образом, сформировалась группа школьников, имеющих активную жизненную позицию и стремление воплотить в жизнь свои замыслы в отношении образования, будущей профессиональной деятельности.

Итоговой работой стал проект на тему: «Ядерные топливные циклы для реакторов 3 и 4 поколений». В реализации проекта группе помогали кураторы. Результатом стало второе место в конкурсе проектов. Обучение в ШИЛ даёт интересный и полезный опыт, опираясь на который был разработан проект «Физические основы замыкания топливного цикла в двухкомпонентной ядерной энергетике», представленный на конференции «Энергия-2024».

Студенты, прошедшие ШИЛ и поступившие в вуз, уже имея определённые навыки, могут сами стать наставниками и делиться, полученными знаниями со школьниками, что обеспечивает преемственность знаний и компетенций.

*С.В. Новоселов, студ.; рук. Г. А. Шмелева, к.п.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОВРЕМЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ ПРИ ПОМОЩИ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ

В условиях стремительного развития науки и технологий квантовая механика перестала быть абстрактной теорией, превратившись в фундамент для прорывных открытий — от квантовых компьютеров до новых материалов с уникальными свойствами. На первый план выходят компьютеризированные средства, которые ускоряют расчёты и делают их доступными для широкого круга пользователей.

Одной из таких программ является Mathcad — как универсальная среда для инженерных и научных расчётов. Это делает его идеальным инструментом для решения учебных и прикладных задач квантовой механики, где важна наглядность и точность.

При помощи Mathcad можно упростить решения таких задач, как стационарное уравнение Шрёдингера для простых систем (частица в потенциальной яме, гармонический осциллятор) с использованием встроенных функций и методом конечных разностей. Например, численное нахождение собственных значений на примере частицы в одномерной потенциальной яме получено с использованием пакета прикладных программ Mathcad. Кода программы имеет следующий вид:

```
N := 100  L := 1  x_min := 0  x_max := L
dx := (x_max - x_min) / (N - 1)  H := matrix(N, N, 0)
for i ∈ 1..N-2
  H[i,i+1] := -1/(2*dx^2)
  H[i,i] := 1/(dx^2)
  H[i+1,i] := -1/(2*dx^2)
H[1,1] := 1  H[N,N] := 1
E := eigenvals(H)  Ψ := eigenvecs(H)
Ψ1 := Ψ^<1> / max(Ψ^<1>)  Ψ2 := Ψ^<2> / max(Ψ^<2>)
Ψ3 := Ψ^<3> / max(Ψ^<3>)
plot(x := 0..L step dx, Ψ1, Ψ2, Ψ3)
```

Mathcad выступает ключевым инструментом в современной квантовой механике, объединяя точность расчётов, интуитивную визуализацию и доступность для исследователей разного уровня. Его применение ускоряет обучение, упрощает моделирование базовых квантовых систем и служит мостом между теорией и практикой. В эпоху цифровой трансформации науки такие инструменты становятся не просто удобством, а необходимостью.

Содержание

<i>Секция 8. Атомные электрические станции</i>	3
<i>Секция 9. Теплообмен в промышленных установках</i>	39
<i>Секция 10. Безопасность жизнедеятельности в техносфере</i>	52
<i>Секция 11. Моделирование физических процессов</i>	70
<i>Содержание</i>	83

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ

Двадцатая всероссийская
(двенадцатая международная)
научно-техническая конференция студентов, аспирантов
и молодых учёных
«ЭНЕРГИЯ-2025»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Печатается в авторской редакции

Составитель Вольман М.А.

Подписано в печать 10.04.2025. Формат 60x84 1/16.

Печать плоская. Усл. печ. л. 4,88. Уч.-изд. л. 5.

Электронное издание.

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина».

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ

153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34.