



РОСЭНЕРГОАТОМ
ROSATOM

ИГЭУ
SEMPER IN MOTU



РОССЕТИ
ЦЕНТР И ПРИВОЛЖЬЕ



ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ

ЭНЕРГИЯ-2026

ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ТРИНАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

13-15 мая 2026 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-2026»

ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ТРИНАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

г. Иваново, 13-15 мая 2026 года

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 2

ИВАНОВО

ИГЭУ

2026

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

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ // Двадцать первая всероссийская (тринадцатая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2026»: Материалы конференции. В 6 т. Т. 2. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2026. – 66 с.

ISBN 978-5-00062-728-0
ISBN 978-5-00062-722-8 (Т.2)

Тезисы докладов студентов, аспирантов и молодых учёных, помещенные 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 **СУЛЫНЕНКОВ И.Н.**

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 9
АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Председатель –
к.т.н. **Вольман М.А.**

Секретарь –
асп. **Зубов Н.В.**

**И.О. Ефремов, Р.А. Масленников, студ.,
рук. Н.А. Лоншаков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА СТРЕЛОЧНЫХ МАНОМЕТРОВ

Цель работы - создание программы для автоматического считывания показаний стрелочных манометров, перевода их в цифровой формат, записи и построения графиков.

Актуальность обусловлена широким применением стрелочных манометров в промышленности, субъективностью визуального контроля и отсутствием единой базы данных. Автоматизация повышает точность, исключает человеческий фактор и позволяет вести непрерывный мониторинг.

Поводом к исследованию стали задачи цифровизации производства, необходимость архивации данных и прогнозирования состояния оборудования.

В работе использованы методы компьютерного зрения, анализ технической документации, инструменты разработки на языках высокого уровня.

По результатам работы сделаны выводы о целесообразности внедрения разработанной программы для повышения надёжности и оперативности контроля технологических параметров. Автоматизация процесса позволяет не только исключить ошибки при считывании показаний, но и обеспечить непрерывное архивирование данных, построение графиков изменения давления, что даёт возможность своевременно выявлять отклонения и предотвращать аварийные ситуации.

Библиографический список

1. Официальный сайт концерна РОСАТОМ: [Электронный ресурс]. — URL: <https://rosatom.ru/>
2. Документация OpenCV: [Электронный ресурс]. — URL: <https://opencv.org/>
Материалы по промышленной автоматизации: [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.controleng.com/>

*А.Е. Уткин, студ.; рук. Н.Н. Ярунина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ЗАЩИТА СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ АЭС ОТ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАСТАНИЙ

Эксплуатация атомных электростанций (АЭС) невозможна без надежного функционирования систем технического водоснабжения (СТВ). Серьезной проблемой является биологическое обрастание внутренних поверхностей трубопроводов и теплообменников. Сообщества гидробионтов – бактерии, микроводоросли, моллюски (например, дрейссена) – формируют перифитон, который снижает пропускную способность водоводов, ухудшает теплопередачу, увеличивает гидравлическое сопротивление и может приводить к снижению мощности энергоблоков. Традиционная борьба с помощью хлорирования и оксидантов эффективна, но опасна для персонала и наносит ущерб экосистемам водоемов-охладителей. Поэтому актуальна разработка превентивных экологических методов.

Перспективным физическим методом является использование низкочастотного ультразвука (УЗ) в диапазоне 20–100 кГц [1]. Основной механизм воздействия на гидробионты – кавитация – процесс образования в жидкой среде полостей, заполненных парами самой жидкости, которые возникают под действием больших разрывающих напряжений и в следующее мгновение захлопываются, сопровождаясь большими давлениями, что вызывает механическое разрушение клеточных мембран микроорганизмов и личинок обрастателей [2]. Важно, что УЗ не накапливается в среде и при подборе щадящих режимов позволяет не уничтожать экосистему. Таким образом, применение ультразвука является эффективным и экологически безопасным методом превентивной защиты СТВ АЭС от биопомех.

Библиографический список

1. Зацаринная Т.Г., Мороз Н.А., Аникиевич К.П. и др. Ультразвук в технологиях борьбы с биообрастаниями в системах оборотного водоснабжения на АЭС // Энергетические установки и технологии. – 2024. – Т. 10. – № 1. – С. 42–54.
2. Антушева Т.И. Некоторые особенности влияния ультразвука на микроорганизмы // Живые и биокосные системы. – 2013. – № 4. – URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-4/article-11>

*И.А. Дороднов, студ.; рук. М.А. Вольман, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСТОРИЯ ВОПРОСА ДЕЛЕНИЯ ТЯЖЁЛЫХ ЯДЕР

Процесс деления тяжёлых ядер урана и плутония лежит в основе работы ядерных реакторов. При делении ядро распадается на 2 осколка, однако нельзя точно сказать, на какие именно осколки распадётся исходное ядро. Например, в ходе реакции распада ядра урана-235 может образоваться до 40 различных пар осколков. Это важно учесть при расчётах реактора для его безопасной и более рациональной работы.

В классической теории считают, что ядро делится почти пополам. На самом же деле, было обнаружено, что при делении урана-235 тепловыми нейтронами исходное ядро чаще распадается на неравные осколки — один заметно тяжелее другого. Эта модель объясняется тем, что перед разрывом, когда ядро деформируется и принимает форму «гантели», нуклоны в «перемычке» успевают перераспределиться.

В работе проанализированы источники об экспериментальных данных и расчетах различных сценариев деления тяжёлых ядер, на основе чего сделаны выводы о механизме этого процесса.

Предсказывая с определённой точностью, какие именно изотопы-осколки образуются в реакторе в процессе его работы, можно эффективнее управлять цепной реакцией и снижать долю долгоживущих радиоактивных отходов. Также данный анализ может пригодиться при проектировании новых видов реакторов. Описанный подход может быть применим не только к традиционным, но и к новым типам ядерного топлива, например, торий-урановому. В перспективе модель может быть полезна при создании реакторов-бридеров (реакторов-размножителей), которые сами воспроизводят топливо из урана-238. Кроме того, этот подход позволяет оценивать выход редкоземельных элементов — продуктов деления, которые очень востребованы в электронике и медицине. Таким образом, данный вопрос не теряет свою актуальность, поскольку применим в энергетике, здравоохранении, электронике, космических исследованиях и других областях жизнедеятельности человека.

Библиографический список

- 1. Широков Ю. М., Юдин Н. П.** Ядерная физика. М.: Наука, 1980. 672 с. (Глава 7: Деление ядер)

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

МОДЕЛЬ НАГРЕВА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В РЕАКТОРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗОТРОПНОЙ ДИФФУЗИИ

Ключевым компонентом атомных электростанций с реакторами ВВЭР выступает тепловыделяющая сборка (ТВС). Определение температурного поля теплоносителя на выходе из ТВС реактора является актуальным вопросом из-за его влияния на безопасность эксплуатации тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) реакторов.

Для упрощения 3D модели определения температурного поля теплоносителя на выходе из ТВС предлагается использовать инновационную форму записи уравнений в частных производных, описывающей совместный перенос энергии посредством механизмов конвекционной составляющей и молекулярной теплопроводности:

$$\delta_{ts}\rho \cdot c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-\lambda_f \nabla T) = Q - \rho \cdot c_p u \cdot \nabla T, \quad (1)$$

где δ_{ts} – коэффициент изотропной диффузии; ρ – плотность среды, кг/м³; c_p – удельная теплоёмкость среды, Дж/(кгК); λ_f – коэффициент теплопроводности теплоносителя, Вт/(мК); Q – удельная мощность энерговыделение, Вт/м³; u – скорость теплоносителя, м/с.

Значение коэффициента изотропной диффузии было определено на основе известного значения температуры теплоносителя на выходе из ТВС путём решения обратной задачи теплопереноса с использованием программного комплекса COMSOL Multiphysics. При этом значение коэффициента изотропной диффузии составило 1,7 при температуре теплоносителя на выходе из ТВС равной 569,32 К, что соответствует погрешности менее 0,1% относительно известного значения.

Дальнейшие исследования с использованием данной модели позволяют уточнить влияние конструктивных особенностей перемешивающих решёток на процесс теплопереноса в различных конструкциях тепловыделяющих сборок. При этом предложенная методика обеспечивает оптимизацию расчётной модели за счёт сокращения количества узлов, что приводит к снижению требуемых вычислительных ресурсов.

Библиографический список

1. Горбунов В.А. Моделирование теплогидравлических процессов в ядерных реакторах в Comsol multiphysics: Учеб. пособие/ ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет». – Иваново, 2019. –180 с.

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

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ГЛАВНЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ НАСОСОВ РЕАКТОРА ВВЭР-1000

Главные циркуляционные насосы (ГЦН) относятся к ключевым элементам оборудования АЭС, обеспечивающим безопасность её работы.

Существует методика оценки состояния ГЦН по амплитуде вибрации [1]. Предлагается оценить надежность работы насоса по коэффициенту полезного действия (КПД).

Формула для расчета КПД ГЦН реакторов ВВЭР-1000:

$$\eta = \frac{\Delta P \cdot G}{U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi}, \quad (1)$$

где ΔP – перепад давления входа и выхода ГЦН; G – расход теплоносителя в петле; U – напряжение на секции; I – ток на электродвигателе; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности насоса ВАЗ 215/109-6АМ05.

Для проверки необходимо сравнить изменение амплитуд вибрации на электродвигателе (ЭД) и КПД насоса в один промежуток времени. Результаты промышленного эксперимента представлены на рисунке 1.

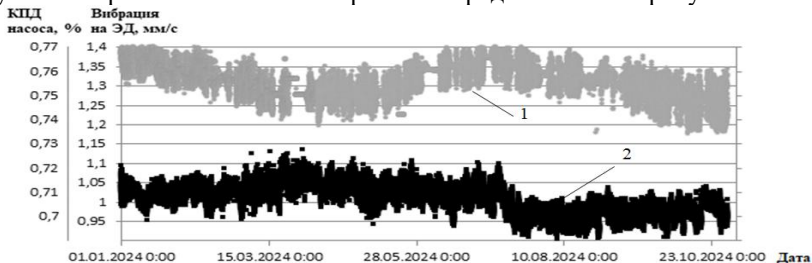


Рисунок 1 – График изменения амплитуд вибрации на ЭД и КПД насоса: 1 – вибрация на ЭД; 2 – КПД насоса

Анализ данных показал, что амплитуда вибрации на ЭД соответствует амплитуде КПД насоса, что позволяет оценивать надежность эксплуатации ГЦН по предложенной методике.

Библиографический список

1. Зарюгин Д.Г. Разработка алгоритмов диагностики состояния ГЦН АЭС с ВВЭР-1000 по данным оперативного технологического контроля: дис. на соиск. учен. степ. к.т.н. по специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации». – Обнинск, 2001. – 128 с.

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

ФЛОТАЦИОННАЯ ЗАЩИТА СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ АЭС ОТ БИОПОМЕХ

Атомные электростанции, использующие для системы технического водоснабжения (СТВ) воду поверхностных водных объектов, в значительной степени подвержены опасности развития биопомех. Наибольшую опасность представляет биообрастание водоводов и теплообменников, затрудняющее отвод тепла от реактора. Основным фактором, обуславливающим развитие биообрастания, является поступление в закрытую часть СТВ различных природных взвесей, водорослей, бактерий, а также более высокоорганизованных форм жизни, таких как моллюски. Их присутствие в СТВ вызывает ухудшение теплообмена, увеличение гидравлического сопротивления трубопроводов, снижение пропускной способности и ускорение коррозионных процессов.

На практике основными ограничительными факторами для использования традиционных методов борьбы с биопомехами (хлорирование, обработка медным купоросом, применение биоцидов) являются: большие расходы охлаждающей воды и реагентов, высокая стоимость реагентов, требования экологической безопасности, а также адаптация микроорганизмов к химическим воздействиям.

На этом фоне, наиболее перспективным является использование напорной флотации для удаления из воды взвеси, включающей органические частицы и личинки моллюсков (дрейссены), которые являются основной биопомехой. Удаление происходит за счёт их адгезии на поверхности пузырьков воздуха с последующим всплытием и удалением в виде пены. Такой подход позволяет существенно снизить концентрацию биогенных элементов и ограничить развитие биообрастаний. Таким образом, флотация – один из самых перспективных физико-химических методов защиты систем технического водоснабжения (СТВ) АЭС и ТЭС от биопомех.

Однако, важным аспектом является интеграция флотационных установок в существующие схемы водоснабжения. Наиболее эффективным является их размещение на входе в систему охлаждения или перед теплообменным оборудованием, что позволяет предотвратить попадание биологических загрязнений в наиболее уязвимые элементы системы.

*А.А. Котякина, студ.; А.С. Чупина, студ.;
рук. Н.А. Лоншаков, к.т.н., доцент (ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ВАКУУМНОЙ КРИВОЙ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ К-1200-6,8/50 С ПОМОЩЬЮ ФУНКЦИОНАЛЬНО- АНАЛИТИЧЕСКОГО ТРЕНАЖЕРА БЛОКА АЭС

При работе с различными энергетическими установками (ЭУ) в вопросах их проектирования, эксплуатации или оптимизации неизбежно возникает вопрос об определении оптимальных параметров для достижения требуемого уровня эффективности их оперативного действия в период эксплуатации.

Паротурбинная установка (ПТУ) К-1200-6,8/50 имеет в своем составе передовую быстроходную турбину, разработанную ОАО «Силовые машины» для проекта «АЭС-2006». В данном проекте источником тепловой энергии служит ядерный энергетический реактор с водой под давлением типа ВВЭР-1200. По проекту «АЭС-2006» реализуется ряд отечественных и зарубежных АЭС, в частности, Нововоронежская АЭС-2, Ленинградская АЭС-2, Белорусская АЭС и др.

Давление в конденсаторе оказывает наибольшее влияние на экономичность ПТУ: при понижении вакуума увеличивается экономичность цикла в связке турбина-конденсатор. С учетом энергозатрат на насосы общая экономичность цикла меняется: для теплового повышается, для выработки энергии снижается, а в определенный момент энергозатраты вспомогательного оборудования могут превысить выработку электроэнергии [1]. Известно изменение мощности (примерно на 1,8%) при изменении давления в конденсаторе на 1 кПа для быстроходных турбин АЭС [2].

В настоящем исследовании с помощью функционально-аналитического тренажера, имитирующего работу блока атомной электростанции проекта АЭС-2006, была получена универсальная вакуумная характеристика (кривая) для турбины типа К-1200-6,8/50 и найден экономический вакуум для рассматриваемого оборудования.

Результат данной работы может быть использован для повышения качества выработки электрической энергии путем оптимизации режимов работы оборудования: нахождения экономического вакуума в различных эксплуатационных режимах.

Библиографический список

1. Бродов Ю.М. Конденсационные установки паровых турбин: Учебн. пособие для вузов / Ю.М. Бродов, Р.З. Савельев. — М.: Энергоатомиздат, 1994. — 288 с.
2. Поваров В.П. Паротурбинная установка К-1200-6,8/50 / В.П. Поваров, И.Н. Гесев, Д.Е. Усачев; РОСАТОМ. — Воронеж: Диамат, 2021. — 499 с.

*А.С. Калинина, студ.; рук. Е.В. Зайцева, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МЕТОДЫ БОРЬБЫ С БИОПОМЕХАМИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Эксплуатация систем технического водоснабжения (СТВ) электрических станций (ЭС) сопровождается образованием биологических помех, вызванных развитием обрастаний (дрейссена, мидии) и накоплением сестона – взвешенных органических и минеральных частиц. Это приводит к снижению пропускной способности водоводов, ухудшению теплообмена в конденсаторах и росту эксплуатационных затрат. Традиционные методы борьбы (хлорирование, механическая очистка, зарыбливание, УФ-обработка) имеют ряд недостатков: экологическая опасность, высокие энерго- и финансовые затраты, кратковременность эффекта и повреждение антикоррозионных покрытий.

Например, опыт применения различных методов борьбы с биологическими обрастаниями показывает, что хлорирование усиливает коррозию и токсично для экосистем, механическая очистка трудоёмка и быстро нивелируется повторным оседанием личинок, УФ-обработка и зарыбливание так же имеют свои минусы. Они не всегда обеспечивают стабильный и долговременный результат, особенно при высокой концентрации сестона и личинок дрейссены в водоисточнике.

В настоящее время наиболее эффективной для защиты СТВ ЭС от биопомех является флотационная защита. Этот метод заключается в насыщении воды мелкими пузырьками воздуха, которые адсорбируют взвешенные частицы и поднимают их на поверхность для последующего удаления, и в добавлении в воду экологически безопасных веществ – коагулянтов и флокулянтов, которые укрупняют частицы сестона, обеспечивая их полное извлечение. Оптимальный режим работы: давление 3–5 атм, время насыщения 20 мин, время аэрации 120 с. Рекомендуется размещение двух барьеров защиты – на входе в водоём-охладитель и перед водозабором АЭС, а также установка датчиков мутности и мембранных аэраторов по всей протяженности подводящего канала с шагом в 10 метров.

Флотационная защита является эффективной, экономичной и экологически приемлемой альтернативой традиционным способам борьбы с биопомехами в СТВ ЭС.

Библиографический список

1. Минин Д.В. Флотационная защита систем технического водоснабжения АЭС от биологических помех : автореф. ... канд. техн. наук. М., 2012. 25 с.
2. Гусева А.А. Оптимизация работы системы оборотного водоснабжения на предприятиях энергетического комплекса (на примере Сызранской ТЭЦ) : дис. ... канд. техн. наук. Тольятти, 2016. 83 с.

*Е.С. Стукалова, А.А. Мурзин, студ.; рук. Н.А. Лоншаков
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИСОСОВ ВОЗДУХА В КОНДЕНСАТОРЕ НА РАБОТУ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ К-1200-6,8/50

Работа системы регенеративных подогревателей низкого давления напрямую зависит от параметров основного конденсата, поступающего из конденсатора паровой турбины. Неконденсирующиеся газы, в частности воздух, оказывают значимое влияние на процесс конденсации пара в объеме конденсатора: ухудшают теплообмен, понижают парциальное давление пара относительно давления паровоздушной смеси, вызывает эрозию теплообменных трубок. Основным источником возникновения неконденсирующихся газов в паровом объеме являются присосы воздуха в вакуумной системе паротурбинной установки в совокупности с неэффективной работой основных эжекторов или водокольцевых вакуумных насосов.

По мере конденсации пара в конденсаторе растёт относительное содержание воздуха, парциальное давление насыщенного пара снижается, и температура конденсата оказывается ниже температуры насыщения – возникает явление переохлаждения конденсата.

Без соответствующего снижения давления в горловине конденсатора переохлаждение конденсата ведёт к дополнительным затратам теплоты на выработку электрической энергии. Увеличивается и расход греющего пара на первые регенеративные теплообменники – снижается теплоперепад и мощность из-за повышения давления за турбиной и расхода пара на регенерацию.

Оценим влияние присоса воздуха на эффективность работы первых подогревателей низкого давления и работу паротурбинной установки в целом.

При помощи функционально-аналитического тренажёра по имитации работы паротурбинной установки К-1200 была разработана модель с заданными начальными и граничными условиями. На модели были просчитаны различные варианты объёма присасываемого в конденсатор воздуха и получены данные о процессе теплообмена. На их основе были определены допустимые пределы и сделаны выводы об экономичности рассматриваемых вариантов.

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

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА ТЕПЛОВЫХ СХЕМ АЭС

Тепловые схемы АЭС иллюстрируют основной технологический процесс получения электрической энергии. Эффективность тепловой схемы АЭС оценивается методами анализа тепловых схем. Для фундаментальной оценки используют три комплексных метода.

1. Метод тепловых потоков основан на составлении теплового баланса установки. Его главный недостаток – он не учитывает работоспособность тепловых потоков, тепло и работа считаются равноценными.

2. Физический метод вводит понятие выработки электроэнергии на тепловом потреблении. Однако метод тепловых потоков нивелирует тепло и работу, а физический метод нивелирует друг с другом теплоту разных потенциалов.

3. Эксергетический (энтропийный) метод – наиболее термодинамически совершенный. Он оценивает потери не энергии, а ее работоспособной части – эксергии. Готовая продукция электростанции для АЭС определяется как разность между входящей эксергией и суммой эксергетических потерь.

К методам анализа локальных изменений относят метод коэффициентов ценности тепла и изменения мощности, связывающий изменение расхода тепла на турбоустановку с подведённым к ступени теплом и изменением мощности, и метод эквивалентных теплопадения, определяющий внутреннюю работу 1 кг пара от конкретной ступени до выхлопа.

Таким образом, комплексные методы необходимы для фундаментальной оценки термодинамического совершенства схемы. Выводы и соотношения из небольших методов позволяют без громоздких вычислений определять вклад от небольших изменений в тепловую схему.

Библиографический список

1. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1976. 447 с.

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

ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ АЭС

Для атомных станций повышение тепловой экономичности оправдано лишь в том случае, если уменьшение топливной составляющей превышает рост капитальных затрат. К технологиям повышения тепловой экономичности относятся:

1. Использование бездеаэрационных схем, где функция деаэрации переносится на смешивающие подогреватели низкого давления, что снижает затраты электроэнергии на собственные нужды.

2. Снижение гидравлических сопротивлений паропроводов отбора и тракта промежуточного перегрева, что позволяет пару совершать большую полезную работу в турбине.

3. Оптимизация системы регенерации, включающая увеличение числа подогревателей и применение эффективных схем, например, с каскадным сливом дренажей, что также повышает тепловую экономичность.

4. Применение турбопривода питательных насосов, особенно на энергоблоках мощностью свыше 500 МВт, существенно уменьшает расход электроэнергии на собственные нужды, при этом наиболее экономичны схемы с турбоприводом с противодавлением. 5. Снижению термодинамических потерь также способствуют ступенчатая конденсация, уменьшающая эксергетические потери в конденсаторе, и более полное использование перегрева греющего пара в регенеративных подогревателях; 6. Для повышения параметров пара применяют как внешний (огневой) перегрев, так и ядерный, который был практически реализован на энергоблоках Белоярской АЭС; 7. Комбинированные установки, направленные на кардинальное повышение КПД, однако на данный момент такие проекты комбинированных АЭС широкого распространения не получили.

Библиографический список

1. **Андрющенко А.И.** Основы термодинамики циклов теплоэнергетических установок: учебное пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1985. 319 с.
2. **Гохштейн Д.П., Верхивкер Г.П.** Анализ тепловых схем атомных электростанций: учебное пособие. Киев: Вища школа, 1977. 239 с.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЕКТОВ ВНЕДРЕНИЯ ПВД НА ОДНОКОНТУРНЫХ АЭС

Температура питательной воды в тепловых схемах одноконтурных АЭС с РБМК-1000 была выбрана меньше оптимальной из-за стремления поддерживать достаточно строгий водно-химический режим КМПЦ и составляет 165°C. Ещё в СССР имелись проекты тепловых схем паротурбинной установки К-750-3000 с подогревателями высокого давления (далее-ПВД), а в более современных учебных пособиях приводятся теоретические исследования добавления подогревателей высокого давления в тепловую схему К-500-3000, приведенный на рис.1[1].

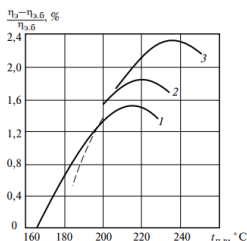


Рисунок 1 - Относительное приращение электрического КПД ПТУ К-500-3000 при установке после питательного насоса одного, двух или трех ПВД (в соответствии с номерами кривых) в зависимости от температуры питательной воды $t_{п.в}$: $\eta_{э.б}$ электрический КПД в базовом (исходном) варианте.

Новейшие проекты одноконтурных АЭС (МКЭР, КР-2.0) предусматривают доведение величины температуры питательной воды до 210-215°C с размещением 1-2 ПВД в тепловой схеме ПТУ. Но поскольку ПВД - главный источник поступления продуктов коррозии в тракт питательной воды, то проекты их внедрения должны предусматривать системы очистки питательной воды до приемлемого качества.

Библиографический список

1. **Зорин В.М.** Атомные электростанции: учебное пособие / В. М. Зорин. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. — 672 с.: ил.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ ОДНОКОНТУРНЫХ АЭС

Развитие отечественной атомной энергетики начиналось с одноконтурных водографитовых АЭС. К первому десятилетию с рождения атомной энергетики академиком Стерманом Л.С. было предложено 7 вариантов тепловых схем для отечественных одноконтурных АЭС [1]. Две из них были реализованы в проектах АМБ и РБМК. Ввиду возрождения интереса к канальным одноконтурным АЭС следует проанализировать проекты тепловых схем на предмет их жизнеспособности в современных условиях.

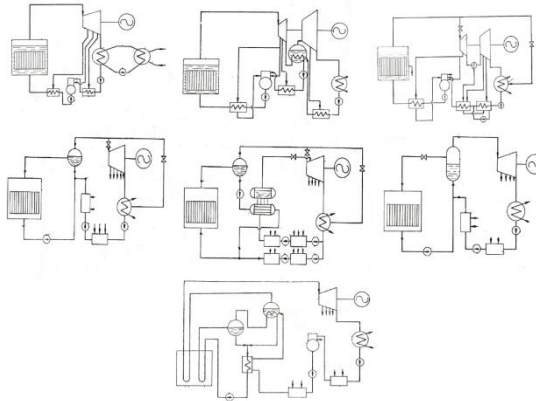


Рисунок 1 - Возможные варианты тепловых схем одноконтурных АЭС.

На рисунке представлены три самые популярные схемы одноконтурных АЭС. Схема 3 является основной, на ее долю приходится более 95% всех отечественных одноконтурных АЭС. Схема 7 с ядерным перегревом пара была впервые реализована в проектах АМБ и предусмотрена последующими проектами РБМКП. Наиболее интересной является схема 3 с турбинным парогенератором.

Библиографический список

1. Стерман Л.С. Тепловая часть атомных электростанций: учебное пособие для энергетических вузов и факультетов / Л. С. Стерман, доктор технических наук. — М.: Госатомиздат, 1963. — 158 с.

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

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СОВЕРШЕНСТВА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В настоящее время имеется немало проектов разных видов атомных электрических станций (АЭС) с реализацией различных термодинамических циклов для выработки энергии, требующих свои методики расчета оценки совершенства. С ростом доли выработки электроэнергии атомной отраслью, строительством новых (АЭС) и общим развитием данной промышленности в рамках глобальной энергетики из-за экологически более безопасной эксплуатации многие сферы данной отрасли сопровождается вопрос об оценке совершенства термодинамических циклов АЭС, что обеспечивает актуальность данной работы. Совершенство термодинамического цикла рассматривают с точки зрения связи экономических и технических показателей, анализ которой осуществлен во многом с помощью минимальной стоимости выработки электроэнергии. В данной работе была использована функциональная зависимость стоимости производства электроэнергии от технических показателей и проведен ее анализ с точки зрения возможных термодинамических циклов для выявления основных критериев оценки их совершенства. Результат настоящего исследования может быть применен в широком спектре деятельности: от разработки новых энергоблоков АЭС и новых АЭС до исследования экономической целесообразности АЭС с целью изучения данной тематики студентами.

Таблица 1 - Критерии совершенства циклов АЭС в зависимости от условий их анализа

Капитальные затраты	Топливная составляющая стоимости электроэнергии	Тепловая мощность реактора	Критерий совершенства цикла
K = const	$C_{\tau} = 0$	$Q_{\tau} = const$	$\eta_{ст}^{макс}$
		$Q_{\tau} = var$	$N_{\tau}^{макс}$
	$C_{\tau} \neq 0$	$Q_{\tau} = const$	$\eta_{ст}^{макс}$
		$Q_{\tau} = var$	$C_{\tau}^{мин}$
K = var	C_{τ}	Q_{τ}	$C_{\tau}^{мин}$

Библиографический список

Калафати Д. Д. Термодинамические циклы атомных электростанций. — М.-Л., Госэнергоиздат, 1963.— 280 с.

*Н.В. Зубов, асп.; И.А. Дороднов, студ.; М.Д. Кочетков, студ.;
рук. М.А. Вольман, к.т.н. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ПОДВОДА ТЕПЛОТЫ В ЦИКЛЕ РЕНКИНА ДЛЯ НАСЫЩЕННОГО ПАРА ОДНОКОНТУРНОЙ АЭС

Оптимизация средней температуры подвода тепла к циклу Ренкина в одноконтурной АЭС является одним из ключевых решений для повышения экономической эффективности станции. Традиционный подход, основанный на максимуме электрической мощности (где топливная составляющая $st=0$), не учитывает значительных затрат на ядерное горючее, которые на АЭС составляют 15–40 % стоимости электроэнергии. В данной работе показано, что игнорирование топливной составляющей приводит к занижению оптимальной температуры подвода тепла, а следовательно, к неверному выбору начальных параметров пара и завышению общей стоимости электроэнергии. В ходе исследований были проанализированы аналитические выражения для оптимальной средней температуры подвода тепла в цикле Ренкина с учетом топливной составляющей. Установлено, что при положительной топливной составляющей оптимальная температура существенно возрастает, а минимум стоимости электроэнергии перестает совпадать с максимумом электрической мощности. Это означает, что работать на пределе технических возможностей реактора — экономически невыгодно.

Полученные результаты позволяют инженерам-проектировщикам АЭС непосредственно выбирать оптимальные начальные параметры пара (давление, температуру) для одноконтурных схем с насыщенным паром, без проведения трудоемких вариантных расчетов. Кроме того, учет топливной составляющей предотвращает завышение мощности.

Полученные результаты могут быть применены для расчета перспективных проектов одноконтурных АЭС в качестве исходных ориентировочных данных.

Библиографический список

1.Калафати Д.Д. Термодинамические циклы атомных электростанций. М.-Л., Госэнергоиздат, 1963.280 с.

*Н.В. Zubov, асп.; К.А. Фертov, студ.; А.С. Чупина, студ.;
рук. М.А. Вольман, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ОТВОДА ТЕПЛОТЫ В ЦИКЛЕ РЕНКИНА ОДНОКОНТУРНОЙ АЭС

Для одноконтурных АЭС (с реакторами типа РБМК, МКЭР, КР-2.0) в условиях отсутствия парогенератора, параметры цикла Ренкина напрямую определяют тепловой режим активной зоны.

Выбор конечной температуры отвода теплоты определяет как термический КПД цикла, так и капитальные затраты на конденсаторную установку. Метод Д.Д. Калафати [1] позволяет найти оптимальное соотношение между топливной и капитальной составляющими стоимости электроэнергии с учётом нормативных ограничений по температуре центра или поверхности ТВЭЛов.

В рамках данной работы выполнен расчёт оптимальных параметров цикла Ренкина для одноконтурной АЭС при различных предельных температурах ТВЭЛ. Используются формулы метода Калафати, различающие два типа ограничений: по температуре центра ТВЭЛ и по температуре поверхности ТВЭЛ. Расчёт проводился итерационно при следующих исходных данных:

$$c_k = 0,8; c_T = 0,25; \chi_k^{\text{кон}} = 5\%; t_{2ц} = 20 \text{ (25)}^\circ\text{C}$$

Предельные температуры приняты: 300 °С (поверхность ТВЭЛ), 1200 °С (поверхность ТВЭЛ) и 2100 °С (центр ТВЭЛ).

Определены оптимальные средние температуры подвода теплоты и термические КПД.

При постоянных капитальных затратах и постоянной тепловой мощности реактора единственным критерием совершенства цикла АЭС принято считать КПД электростанции по выработке электроэнергии. Наибольший термический КПД достигается при предельной температуре центра ТВЭЛ (2100 °С).

Полученные результаты могут быть учтены при технико-экономическом обосновании параметров одноконтурных АЭС, а также при оптимизации конденсаторных установок.

Библиографический список

1. Калафати, Дмитрий Дмитриевич. Термодинамические циклы атомных электростанций: диссертация ... доктора технических наук: 05.00.00. — Москва, Ленинград: "Госэнергоиздат", 1963. — 280 с.: ил.: 20х15 см..

*Н.В. Зубов, асп.; А.С. Чупина, студ.; К.А. Ферттов, студ.;
рук. М.А. Вольман, к.т.н. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПРОЕКТ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ЯЭУ С ВВЭР-1200

Глобальное развитие ядерной энергетики формирует вопрос о повышении экономичности ядерных энергетических установок (ЯЭУ). На практике известно, что повышение экономичности паротурбинных ЯЭУ ограничивается предельными параметрами водяного пара и единичной мощности агрегата, после которых их повышение уже не вносит значительных изменений в снижение удельных расходов теплоты и повышение их КПД [1]. В связи с этим появляется необходимость рассмотрения комбинированных циклов.

Для энергетических установок (ЭУ) основные пути повышения тепловой экономичности связаны с увеличением средней температуры подвода теплоты и понижением средней температуры отвода теплоты. Комбинированные циклы с использованием в качестве рабочего тела жидких металлов и их паров, высококипящих органических теплоносителей, низкипящих веществ предусматривает «надстройку» или «пристройку» нового цикла рядом с нынешним. Наиболее эффективны комбинированные установки типа «надстройка» ввиду того, что в отличие от установки типа «пристройка» в «надстройке» не увеличиваются потери в холодном источнике. Комбинирование нескольких циклов, в теории способно привести КПД к значениям до 60%, что выше значений, достигнутых на текущий момент времени практически.

В настоящей работе проанализировано несколько вариантов тепловой схемы водогрейной комбинированной с водо-водяным реактором ВВЭР-1200 и паротурбинной установкой К-1200.

Результаты представленной работы могут быть применены в проектах будущих атомных электрических станций с ВВЭР-1200 для повышения их экономичности.

Библиографический список

1. **Ядерные энергетические установки:** Учеб. пособие / Б. Г. Ганчев, Л. Л. Калишевский, Р. С. Демешев и др.; Под общ. ред. Н. А. Доллежалея. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 504 с.

*Невейкина А.А., студ.; рук. Лоншаков Н.А., к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СУХОЙ ГРАДИРНИ ДЛЯ АЭС В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО КЛИМАТА

В условиях засушливых регионов применение сухих систем охлаждения на АЭС сопровождается увеличением температуры конденсации, что снижает мощность и эффективность турбинной установки. Влияние климатических факторов и аэродинамики воздушного потока на работу градирни требует детального анализа.

Целью работы является оценка влияния параметров работы сухой вентиляторной градирни на характеристики конденсационного оборудования АЭС в Узбекистане на основе численного моделирования.

Геометрическая модель сухой градирни разрабатывается в САДсистеме 3D-моделирования, состоит из теплообменных секции, воздушного тракта и вентиляторных установок. Моделирование тепловых и газодинамических процессов реализуется в комплексе ANSYS Fluent. Расчётная область включает в себя внутренний объём градирни и окружающую воздушную среду.

Теплообменные секции моделируются как однородная пористая среда с заданными характеристиками сопротивления и теплообмена. Работа вентиляторов задаётся через граничные условия по расходу и давлению с использованием характеристических зависимостей. Регулирование работы градирни производится через: изменение оборотов вентиляторов, перераспределение потока по секциям и применение заслонок для регулирования расхода или байпасных каналов. В расчётах учитываются температурные условия жаркого климата, (35–45 °С).

Моделирование ограничено областью градирни, при этом её влияние на конденсационную систему АЭС учитывается через изменение температуры охлаждающей среды, поступающей в конденсатор.

Результаты моделирования позволяют определить распределение скоростей и температур и оценить влияние режимов работы на эффективность теплообмена.

Таким образом, результаты численного моделирования позволяют оценить влияние параметров воздушного потока на температуру охлаждающей среды, поступающей в конденсатор. Повышение температуры воздуха приводит к росту температуры охлаждающей воды, поступающей в конденсатор, что ухудшает условия конденсации пара. В результате ухудшается вакуум и снижается КПД турбинной установки, а следовательно, и мощность энергоблока. Это необходимо учитывать при проектировании градирен АЭС, размещаемых в условиях жаркого климата.

В.А. Зарипова, Л.В. Абрамов, А.В. Бакланов (Филиал АО «Концерн Росэнергтоатом» «Калининская АЭС», АО «ОКБМ Африкантов»)

ОБОСНОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ВЫВОДА В РЕМОНТ КАНАЛА СБ С ПОМОЩЬЮ РИСК- ИНФОРМАТИВНОГО МЕТОДА НА ПРИМЕРЕ ЭБ №3 КАЛИНИНСКОЙ АЭС

В рамках данной работы показана возможность использования риск-информативных методов для обоснования возможности вывода в ремонт канала СБ, на срок, превышающий установленное время в действующей редакции технологического регламента безопасной эксплуатации.

Проведена оценка вероятностных показателей безопасности при выводе канала системы безопасности в ремонт.

Оценено изменение частоты тяжёлой аварии с использованием логико-вероятностной модели ВАБ первого уровня для внутренних исходных событий при работе на мощности (в ПК CRISS монитор) и полномасштабной логико-вероятностной модели ВАБ, доработанной для целей мониторинга риска (ПС CRISS 7.0). На основе выполненных оценок рассчитана величина изменения суммарной вероятности тяжёлых аварий на интервале вывода в ремонт канала системы аварийного и планового расхолаживания (7 суток). Выполненный расчёт показал, что при принятии решения о выводе канала системы аварийного и планового расхолаживания на 7 суток необходима разработка компенсирующих мероприятий.

Целесообразно продолжить работу по обоснованию возможности вывода в ремонт каналов СБ, на время, превышающее установленное в технологическом регламенте безопасной эксплуатации. При этом необходимо использование полномасштабной логико-вероятностной модели ВАБ, прошедшей экспертизу в установленном порядке.

Кроме того, при использовании риск-информативных решений должны учитываться:

- требования федеральных норм и правил в области использования атомной энергии;
- опыт эксплуатации блока атомной станции, на котором планируется реализация риск-информативного решения, а также блоков аналогичных атомных станций;
- современный уровень развития науки, техники и производства;
- степень влияния решения на глубокошелонированную защиту и её составляющие;
- степень влияния решения на обеспечение физической защиты атомной станции.

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

РАСЧЕТ РЕАКТИВНОСТИ МЕТОДОМ ОРУК ПО ПОКАЗАНИЯМ ДПЗ ДЛЯ РЕАКТОРА ВВЭР-1000

Реактивность является важнейшим параметром, характеризующим поведение и текущее состояние активной зоны ядерного реактора. Она характеризует степень отклонения коэффициента размножения нейтронов от единицы, или, другими словами, отклонение реактора от состояния критичности.

На практике реактивность определяется методом обратного решения уравнения кинетики (ОРУК) реактора с учетом запаздывающих нейтронов. При этом нейтронный поток в реакторе – его нейтронная мощность – считается пропорциональным показаниям боковых ионизационных камер (ИК), расположенных за пределами реактора в биологической защите. В действительности, ионизационные камеры испытывают воздействие множества других факторов, которые могут заметно искажать их показания. К наиболее значительным факторам для реактора ВВЭР-1000 следует отнести так называемый «пространственный эффект» и изменение входной температуры теплоносителя. [1]

В проекте реакторной установки ВВЭР-1000 имеется система внутриреакторного контроля (СВРК), которая также производит измерения нейтронного потока. Эти измерения производятся с помощью 448 датчиков прямого заряда (ДПЗ) непосредственно внутри активной зоны реактора. К сожалению, сигналы от этих датчиков имеют значительное запаздывание, определяемое физическим принципом их работы – активацией родиевого эмиттера нейтронами. Знание характеристик процессов, определяющих это запаздывание, позволило разработчикам СВРК при модернизации системы включить в нее средства для исключения этого запаздывания – так называемые фильтры Калмана.

В данной работе рассчитывается реактивность по данным, зарегистрированным в электронных архивах СВРК. [2] Максимальная частота регистрации данных в них составляет один раз в секунду. От частоты регистрации сигнала и поля абсолютных линейных энерговыделений (ЭВ), зависит качество получаемого результата, в частности величина «шума» реактивности влияет на результат.

Библиографический список

1. В.А. Брагин, И.В. Батенин, М.Н. Голованов и др. Системы внутриреакторного контроля АЭС с реакторами ВВЭР. М.: Энергоатомиздат, 1987.
2. Ю.М. Семченков, К.Б. Косоуров, А.Е. Калинушкин, Д.Н. Скороходов, Н.В. Мильто, Базовый программный комплекс расчёта энерговыделения СВРК-М («Хортица-М»). Верификационный отчёт, инв N: 110.10-49/1-130-118 от 27.02.2018 М.: НИЦ Курчатовский институт, 2018.

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

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

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.

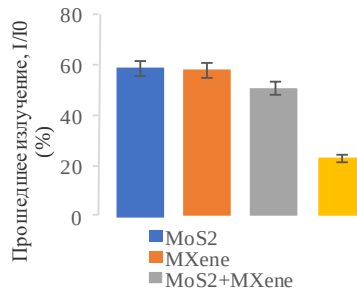


Рис.1 Интенсивность прошедшего излучения

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>.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЦЕЛЯХ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

На данный момент в науке стоит вопрос снижения получаемых доз облучения персоналом и населением от источников ионизирующего излучения. Одним из способов обеспечения радиационной безопасности является применение экранов для снижения мощности дозы от ИИ. В качестве экранов традиционно применяются радиационно-защитные маты из свинца и дополнительные средства индивидуальной защиты из свинца или вольфрама, например, свинцовые фартуки. Свинец недорогой, прост в обработке, однако его токсичность может нанести большой вред организму человека и окружающей среде [1-4]. В связи с этим существует потребность в разработке альтернативных материалов, которые являются более экологически чистыми и легкими, при этом их можно использовать в качестве экранирующего материала. Наиболее перспективным направлением изучения данного вопроса являются композиты, так как позволяют использовать легкие в своей основе материалы, в которые можно включать микро- и наночастицы других материалов для достижения необходимых радиационно-защитных характеристик.

Повышение радиационно-защитных свойств композитных материалов можно добиться не только поиском новых химических соединений в качестве основы для композитного материала, но и путем комбинации различных материалов в несколько слоев. Это позволит добиться значительного повышения экранирующих свойств и помимо этого имеет высокий потенциал сократить толщину и, соответственно, массу экрана, что положительно скажется на эксплуатации в качестве экранирующих фартуков и жилетов для персонала.

Библиографический список

1. Buyuk, B. Comparison of Lead and WC-Co Materials against Gamma Irradiation / B. Buyuk, A. B. Tugrul // Acta Phys. Pol., A. – 2014. – Vol. 125. – P. 423–425. <http://doi.org/10.12693/APhysPolA.125.423>
2. Tungsten-based material as promising new lead-free gamma radiation shielding material in nuclear medicine / N. J. AbuAlRoos [et al.] // Physica Medica. – 2020. – Vol. 78. – P. 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.08.017>
3. Effect of BaO on lead free zinc barium tellurite glass for radiation shielding materials in nuclear application / K. Boonin [et al.] // J. Non-Cryst. Solids. – 2020. – Vol. 550. – Art. ID 120386. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrystol.2020.120386>
4. Feasibility of polymer-based composite materials as radiation shield / M. Almurayshid [et al.] // Radiat. Phys. Chem. – 2021. – Vol. 183. – Art. ID 109 425. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109425>

СЕКЦИЯ 10
ТЕПЛООБМЕН В ПРОМЫШЛЕННЫХ
УСТАНОВКАХ

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

Секретарь –
студ. **Чердниченко А.Б.**

И.В. Степченко, студ.; рук. М.Г. Куликова, к.т.н., доц.
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ НА
ПАРАМЕТРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОИЗВОДСТВА И КАЧЕСТВО СМЕТАНЫ**

В работе рассмотрено влияние инфракрасного излучения (ИК-излучения) на кинетику процесса сквашивания при производстве сметаны. Актуальность исследования обусловлена необходимостью интенсификации традиционных технологических процессов без снижения качества готового продукта.

В отличие от известных работ по инаktivации микрофлоры с помощью ИК-излучения, в данном исследовании решалась обратная задача – активация мезофильных бактерий *Streptococcus lactis* при сохранении их жизнедеятельности. Эксперимент проводился при температуре +28 °С, которая не приводит к тепловой инаktivации (порог инаktivации составляет 72 °С).

В ходе эксперимента были сформированы два образца нормализованных сливок жирностью 20% с добавлением 5% закваски. Образец №1 нагревался классическим способом на водяной бане, образец №2 обрабатывался инфракрасным нагревателем с терморегулятором. Контроль кислотности осуществлялся титрованием по ГОСТ Р 54669-2011 каждые 2 часа.

Установлено, что применение ИК-обработки позволяет ускорить процесс ферментации на 13% по сравнению с классическим тепловым методом. Образец, подвергшийся ИК-излучению, достиг референтных значений кислотности (65–90 °Т) на 3 часа раньше расчётного срока при общей продолжительности сквашивания 7–10 часов. При этом температура в процессе эксперимента не превышала 28,7 °С, что не нарушило жизнедеятельности мезофильной микрофлоры.

Полученные результаты могут быть использованы при модернизации технологических линий производства кисломолочных продуктов на предприятиях пищевой промышленности с целью сокращения производственного цикла и снижения энергозатрат.

Библиографический список

1. Anumudu C.K., Onyeaka H., Hart A., et al. Advances in the Application of Infrared in Food Processing for Improved Food Quality and Microbial Inactivation // Foods. 2024. Vol. 13. № 24. P. 4001.

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

КИНЕТИЧЕСКИЕ ВЛАГОСТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЛИНОЗОЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКЕ

Повышение интенсивности влагопереноса при конвективной сушке глинозольного изделия-сырца возможно за счет роста режимных параметров (температуры, скорости) сушильного агента и увеличения содержания золы в составе основных компонентов материала [1].

С этой целью изготавливались пластинчатые глинозольные образцы с формовочной влажностью 20% способом полужесткого пластического формования с различным содержанием модифицированной дисперсной отвалной золы гидроудаления Ивановской ТЭС-2 (10÷40%).

Полученные изделия-сырцы были подвергнуты обезвоживанию в сушильной камере в условиях его двухстороннего обтекания теплоносителем при различных температурах (75÷125°C) и скоростях (1÷5 м/с).

В результате полученных кривых сушки $U=f(\tau)$ были установлены с помощью метода Красникова обобщенные кинетические закономерности обезвоживания ($y_i=f(x)$ с учетом содержания золы ($i=10\div40\%$), отражающие единую совокупность семейства экспериментальных кривых сушки при различных параметрах сушильного агента для заданного состава (Г:З) глинозольного материала [2] (рис.1).

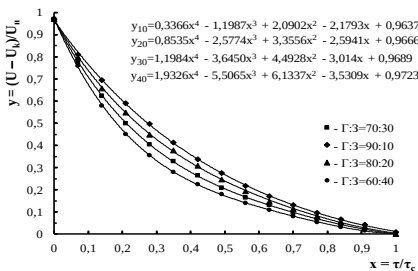


Рис.1. Обобщенные кинетические закономерности обезвоживания глинозольного материала различного состава

Полученные результаты позволяют упорядочить кривые сушки к единому характеру по влагосодержаниям материала (начальному U_n и конечному U_k) и оптимизировать кинетические данные сушки, а также

показывают повышение интенсивности сушки (снижение времени сушки τ_c) с ростом содержания золы в глинозольном изделии-сырце (по крутизне кривых) вследствие увеличения геометрических параметров пористой структуры и массопроводности (рис.1).

Библиографический список

1. Сайбулатов С.Ж., Сулейменов С.Т., Кулбеков М. Золы ТЭС в производстве строительной керамики. - Алма-Ата: Казахстан, 1986. 144 с.
2. Красников В.В. Кондуктивная сушка. - М.: Энергия, 1973. 288 с.

В.Г. Пак, магистрант;

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ЛИСТОВОГО ШПОНА В ПРОЦЕССЕ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ

Повышение интенсивности сушки тонких капиллярно-пористых листовых материалов производится на основе их кинетических термовлажностных закономерностей при различных условиях теплообмена между влажным материалом и сушильным агентом [1].

В качестве исследуемого материала использовался тонколистовой шпон толщиной 1 мм, полученный термовлажностной и механической обработкой древесины хвойных пород.

Кинетика сушки листовых образцов осуществлялась в сушильной камере с замкнутой рециркуляцией сушильного агента в условиях продольного обтекания теплоносителем обеих поверхностей материала при различных температурах воздуха $80\div 150^\circ\text{C}$ и его скоростях $1,5\div 3$ м/с.

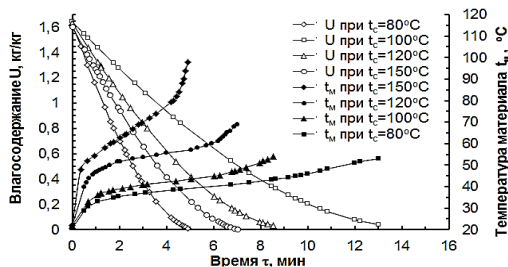


Рис.1. Термовлажностные кривые сушки листового шпона при различных температурах воздуха и скорости 2,2 м/с

По полученным кинетическим закономерностям сушки образцов листового шпона (рис.1) установлено, что с увеличением температуры и скорости теплоносителя интенсивность обезвоживания материала повышается и продолжительность термообработки сокращается с повышением температуры от 80 до 150°C в среднем на 60% , а с ростом скорости воздуха от $1,5$ до 3 м/с на $30\div 40\%$.

На основе анализа полученных кривых сушки и анизотропного усадочного поведения листового шпона в процессе сушки рекомендуется с целью получения качественного материала производить сушку в условиях умеренных температур и повышенных скоростях воздуха.

Библиографический список

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

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

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СУШКИ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАГРЕВА ЛОМА

Предлагаемый метод нагрева шихты в загрузочных бадьях (корзинах) является экономически эффективным и применим для всех типов электропечей, поскольку не требует корректировки действующей технологии или производственных регламентов [1].

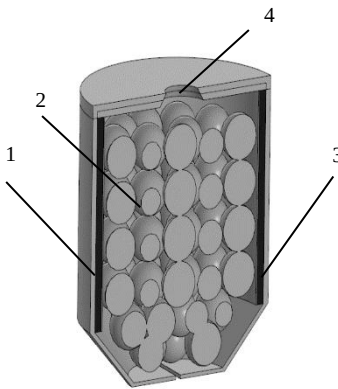


Рис. 1 Предлагаемая модель устрой-

ства. Ранее уже создавались расчётные модели для рассматриваемого устройства [2], однако, они были очень упрощёнными и имели ряд недостатков. На рисунке 1 представлена усовершенствованная модель устройства для нагрева лома в загрузочной бадье, которая состоит из корпуса 1, лома 2, футерованной (теплоизолирующей) вставки 3, отверстия для подачи газа 4.

Сравнивая результаты, полученные с помощью созданной модели, с данными альтернативных расчётов, можно сделать вывод, что погрешность не превышает 5%. Это свидетельствует о высокой точности предложенной мо-

дели и подтверждает её адекватность реальным физическим процессам.

Таким образом, разработанная модель может с уверенностью использоваться для дальнейших исследований, оптимизации режимов работы устройства и оценки энергетической эффективности без необходимости в дорогостоящих и длительных натурных экспериментах.

Библиографический список

1. Устройство (бадья-термос) для предварительной сушки и нагрева лома: пат. 182800 Рос. Федерации/ Строгонов К.В., Чаймелов А.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ". – № 2018117626; заявл. от 14.05.18; опубл. 03.09.18 Бюл. № 25.
2. Степанов А.А., Строгонов К.В. Моделирование устройства для высокотемпературного нагрева лома // В сборнике: Проблемы современной теплоэнергетики. сборник трудов Международной научно-технической конференции. Казань, 2024. С. 221-226.

*А.М. Самойлов, асп.; М.А. Дудина, магистр.; А.Д. Серов, магистр.;
рук. Р.В. Бударагин, д.т.н., проф.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)*

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ НА ПИРОЛИЗНОМ РЕАКТОРЕ

Переработка твёрдых промышленных отходов методом низкотемпературного пиролиза — актуальное направление малой распределённой энергетики. Цель работы — разработка схемы паротурбинной установки на базе шнекового пиролизёра [1].

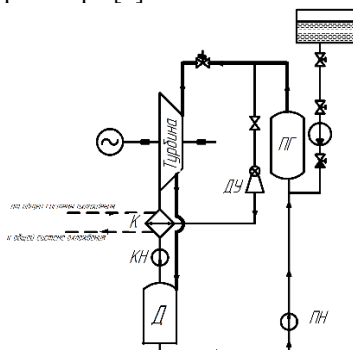


Рисунок 1 – Принципиальная тепловая схема ПТУ: ПГ – парогенератор, совмещённый с пиролизной ретортой; К – конденсатор; КН – конденсатный насос; Д – деаэратор; ПН – питательный насос; ДУ – дроссельно-увлажнительное устройство сброса пара в конденсатор.

Перегретый пар из парогенератора ПГ поступает на паровую турбину, соединённую с электрогенератором. Отработавший пар конденсируется в конденсаторе К, охлаждаемом оборотной водой. Конденсат насосом КН подаётся в деаэратор Д, откуда насосом ПН возвращается в ПГ, замыкая контур [2]. Устройство ДУ обеспечивает сброс пара в пусковых и аварийных режимах. Отличительная особенность ПГ — пристенное исполнение: трубки $\varnothing 32 \times 2$ мм уложены в канавки на наружной поверхности реторты.

Разработанная схема обеспечивает выработку электрической мощности 720 кВт при полной термической утилизации продуктов пиролиза, без привлечения внешнего топлива.

Библиографический список

1. Трухний А.Д. Стационарные паровые турбины. М.: Энергоатомиздат, 1990. 640 с.
2. Патент RU 182327U1. Непрерывный шнековый пиролизёр / ООО «НПП ЮНИОН». 2018.

**В.А. Чувашов, студ.; рук. И.В. Якименко д.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске**

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ТЕПЛООТВОДЯЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ СИЛОВОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ТЕХНИКИ В ИНДУСТРИАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Увеличение удельной мощности транзисторных структур (IGBT, MOSFET) актуализирует задачу эффективного охлаждения. Термическая деградация полупроводниковых переходов приводит к выходу из строя свыше половины электронных узлов. Создание компактных теплоотводящих конструкций с оптимальным температурным режимом представляет ключевую проблему электротехнической промышленности.

Исследование посвящено сопоставлению метода непосредственного контакта жидкого хладагента с основанием модуля («Direct Clean Wave») и классических конвекционных решений на heat pipe элементах для установок мощностью от 100 кВт. Особенность методики – анализ компактности размещения в силовом шкафу. [1]

В программной среде SimScale построены математические модели температурных полей стандартного IGBT-элемента. Создан каталог значений теплового сопротивления между переходом и окружающей средой для трёх вариантов радиаторных конструкций. Определены зоны максимального нагрева при работе в прерывистых режимах промышленных приводов.

Практическая значимость заключается в возможности аргументированного выбора охлаждающей системы при разработке оборудования. Применение игольчатой конфигурации ребер обеспечивает понижение температуры на 12–15% при постоянной производительности вентиляции, сокращая энергозатраты. [2]

Результаты востребованы при создании регулируемых приводов и резервных источников питания. Актуально изучение РСМ-композитов для стабилизации температуры в циклических условиях.

Библиографический список

- 1. Воронин П.А.** Силовые полупроводниковые ключи. М.: Додэка-XXI, 2021. 384 с.
- 2. Егоров А.В.** Системы охлаждения мощных приборов // Промышленная электроника. 2023. № 4. С. 42–49.

Р.С. Баранников, Д.А. Авдеев, студ;

рук. Р.Н. Габитов, к.т.н., доцент (ИГЭУ, г. Иваново)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ТКО

Проблема накопления твёрдых коммунальных отходов (ТКО) приобретает в последние десятилетия критический характер во всём мире. Одним из наиболее перспективных и экологически безопасных методов переработки ТКО является газификация – термохимический процесс превращения органической части отходов в горючий синтез-газ ($\text{CO} + \text{H}_2$)[1]. В отличие от прямого сжигания, газификация позволяет получать ценное сырьё для энергетики или химической промышленности с существенно меньшими выбросами вредных веществ.

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения эффективности переработки отходов с получением синтез-газа, где ключевую роль играет учёт поглощения тепла химическими реакциями и неоднородного прогрева слоя.

В работе представлены результаты численного моделирования стационарного температурного поля и степени конверсии твёрдых коммунальных отходов (ТКО) в цилиндрическом реакторе с движущимся слоем при эндотермической реакции газификации.

Для достижения поставленной цели была разработана программа на C++, реализующая двумерную математическую модель. В основе модели лежит уравнение Фурье–Кирхгофа в цилиндрических координатах с конвективным членом и источником тепла, связанным со скоростью реакции по кинетике Аррениуса. В отличие от угля, для ТКО использовались осреднённые теплофизические свойства и кинетические параметры, характерные для органической фракции. Численное решение выполнено явной конечно-разностной схемой с интегрированием по высоте; радиальная часть аппроксимирована консервативной схемой на основе потоков, что обеспечивает сохранение теплового баланса.

В ходе вычислительных экспериментов были исследованы два сценария подачи реагента: влажные отходы и подача перегретого пара на высоте 0,3 м, а также диапазон температур стенки от 1100 до 1800°C. Установлено, что полная конверсия органической части на оси реактора высотой 1,5 м достигается при температуре стенки не ниже 1450°C для влажных отходов и при 1350°C при подаче пара в сухие отходы.

Библиографический список

1. Газогенераторные технологии в энергетике : моногр. / А.В. Зайцев, А.Ф. Рыжков, В.Е. Силин [и др.] ; под ред. А.Ф. Рыжкова.— Екатеринбург : Сократ, 2010.— 612 с

*Т.И. Аллахвердиев, студ.;
рук. О.Б. Колибаба, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОМПЛЕКС ПО СОРТИРОВКЕ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Согласно указу президента РФ, к 2030 году в РФ должна быть сформирована экономика замкнутого цикла, которая обеспечит сортировку 100% объёма ежегодно образуемых твёрдых коммунальных отходов (ТКО), захоронение не более чем 50% таких отходов и вовлечение в хозяйственный оборот не менее чем 25% отходов производства и потребления в качестве вторичных ресурсов и сырья [1].

Целью разработки комплекса термической переработки ТКО методом пиролиза является снижение объема отходов, направленных на полигон, и увеличение доли перерабатываемых материалов. Технический результат заключается в повышении эффективности переработки ТКО и в повышении качества получаемого горючего газа, в повышении экологической безопасности работ.

Основные этапы сортировки отходов:

- предварительная механическая сортировка;
- глубокая сортировка по типам материалов;
- выделение опасных и специальных отходов.

Современные технологии сортировки (Индустрия 4) предполагают использование автоматизированных линий с ресурсосберегающими системами, применение оптических систем определения и разделения материалов, внедрение магнитных, воздушных и вибрационных методов.

Преимуществами комплекса являются: экологическая безопасность, энергетическая эффективность, наличие системы автоматического управления, обеспечивающей автоматическое поддержание оптимальных параметров технологического процесса.

Библиографический список

1. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 о национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года [Электронный ресурс] URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107020031> (дата обращения: 22.04.2026).

*В.И. Минин, студ., А.Н. Фёдоров, студ.,
рук. О.В. Самышина, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОЧКИ РОСЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ ЛИНИИ СУШКИ АПАТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА

Значение температуры точки росы зависит от многих факторов – исходный воздух, расход мазута, расход кека, расходы первичного и вторичного воздуха, количество присосов и т.д. В настоящее время используются различные методы определения температуры точки росы продуктов сгорания. Наиболее простым является использование психрометрической диаграммы, разработанной российским инженером Л.К. Рамзиным для влажного воздуха.

В то же время в литературе представлены и другие формулы для определения значения температуры точки росы, влагосодержания, относительной влажности и энтальпии продуктов сгорания. Так, в [1] приводится уравнение для расчета температуры точки росы:

$$t_p = 37,1 \cdot \lg \left(d / (3,77 + 0,085 \cdot \alpha_{yx}) \right) \quad (1)$$

где d – влагосодержание дымовых газов, г/кг сухих газов;

α_{yx} – коэффициент избытка воздуха в дымовых газах.

По данной методике была рассчитана температура точки росы уходящих газов линии сушки апатитового концентрата (рис. 1).

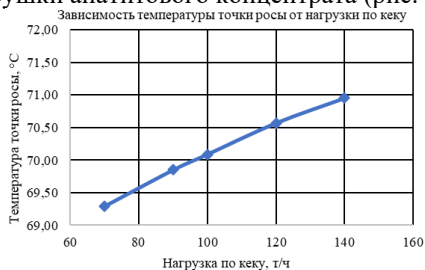


Рис. 1. Зависимость температуры точки росы от загрузки сушильной секции

Средняя температура точки росы для сушильного барабана составляет 70,15 °C.

Библиографический список

1. Кудинов А.А., Зиганшина С.К. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. – М.: Машиностроение, 2011. – 374 с.
2. Лившиц С.А., Лебедев В.А., Лебедев Р.В. Методика расчета температуры точки росы уходящих газов при смешанном сжигании газа и мазута в топках котлов // Проблемы энергетик. – 2008. – № 3–4. – С. 51–57.

**Ю.Н. Кони́на, студ., В.Р. Воронкова, студ.,
рук. О.Ю. Нагорная, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ТРУБЧАТОЙ ПЕЧИ В ПРО- ГРАММНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

Целью расчета является определение тепловых полей трубчатой электропечи в программном комплексе Ansys Fluent. При моделировании рассматривался внутренний объем печи, заполненный углем с заданными теплофизическими свойствами. Решалась задача нестационарного нагрева сплошного цилиндра за счёт теплопроводности внутри материала, без движения жидкости и без конвекции.

Итоговая цель моделирования: получить количественное описание, как быстро и каким образом тепло распространяется от нагреваемой поверхности внутрь материала, и как теплофизические свойства материала и граничные условия влияют на эту динамику.

В результате моделирования были определены: распределение температуры по радиусу и высоте цилиндра во времени; скорость прогрева центра цилиндра; тепловые градиенты и тепловые потоки внутри тела. По результатам расчетов время достижения температуры материала на оси трубчатой печи значения 1000°C составило 5040 с.

Температурное поле по продольному сечению трубчатой печи представлено на рис. 1.

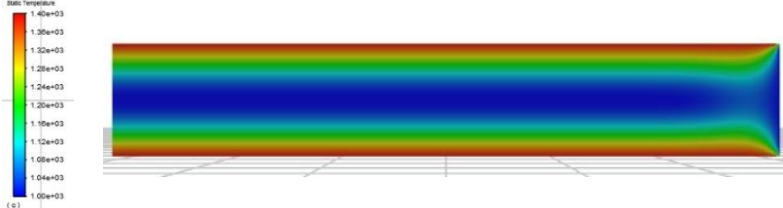


Рис. 1. Температурное поле при $t=5040$ с

Разработана вычислительная модель газификатора в программном комплексе Ansys Fluent. Модель позволяет воспроизводить опыты с различными параметрами геометрии расчетной области, теплофизическими свойствами и граничными условиями и получать при этом достоверные данные по температуре и тепловым потокам.

Библиографический список

1. Горбачёв, М.В. Моделирование задач теплообмена в среде ANSYS Fluent : учебное пособие / М. В. Горбачёв, В. А. Спарин, В. С. Наумкина. — Электрон. дан. — Новосибирск : НГТУ, 2023. — 118 с.

СЕКЦИЯ 11
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
В ТЕХНОСФЕРЕ

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

Секретарь –
студ. **Домахина Л.Ю.**

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

ВАРИОФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И СОБЫТИЙ, ВЫЗЫВАЮЩИХ 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 процессы опасного техногенного воздействия.

Предохранительный запорный клапан относится к основным компонентам пункта редуцирования, перекрывающим перемещение газа при недопустимом повышении давления за регулятором давления. Детерминированные и стохастические процессы в компонентах запорного клапана могут приводить к техническому происшествию, состоящему в его разгерметизации, вызывающей процесс утечки природного газа с последующим дефлаграционным взрывом.

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

- 1) изучение конструкции запорного клапана и его компонентов с обозначением детерминированных и 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;
- 4) исследование посредством вариофикационной модели риска возникновения эффектов взрывного воздействия.

Библиографический список

1. Трудовой кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] / Федеральный закон №197-ФЗ от 01.02.22 г. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901807664>. – (Дата обращения: 07.04.2026).

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

ВАРИОФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И СОБЫТИЙ, ВЫЗЫВАЮЩИХ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИЮ ТРУБОПРОВОДА НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Федеральный закон «Трудовой кодекс Российской Федерации» [1] в 218 статье «Профессиональные риски» предусматривает следующее: «Выявление опасностей осуществляется путём обнаружения, распознавания и описания опасностей, включая их источники, условия возникновения и потенциальные последствия при управлении профессиональными 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 процессы опасного техногенного воздействия.

Трубопровод горячей воды является компонентом насосной станции, передающей тепловую энергию на потребление. Детерминированные и стохастические процессы в компонентах трубопровода могут приводить к происшествию, состоящему в его разгерметизации, вызывающей процесс выброса горячей воды в помещение станции.

Задача вариофикации процессов и событий при эксплуатации трубопровода горячей воды состоит в следующем:

- 1) изучение конструкции трубопровода и его компонентов с обозначением детерминированных, стохастических процессов и событий;
- 2) составления последовательности процессов, событий и условий их совместности, приводящих к техногенному происшествию «Оболочечная разгерметизация трубопровода горячей воды» и его предотвращающих;
- 3) визуализация вариофикационной модели с графическим представлением процессов, событий и условий их совместности;
- 4) исследование с помощью вариофикационной модели риска разгерметизации трубопровода насосной станции.

Библиографический список

1. **Трудовой кодекс Российской Федерации** [Электронный ресурс] / Федеральный закон №197-ФЗ от 01.02.22 г. Режим доступа: [http:// docs.cntd.ru/ document/901807664](http://docs.cntd.ru/document/901807664). - (Дата обращения: 07.04.2026).

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

ОЦЕНКА РИСКОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Риск на промышленном предприятии — это вероятность возникновения неблагоприятных событий, которые могут привести к экономическим потерям, травмам или гибели людей, а также к экологическому ущербу.

Оценка рисков — это процесс идентификации, анализа и оценки потенциальных рисков, а также разработки и реализации мер по их снижению. Она включает в себя сбор и анализ информации о возможных угрозах, оценку их вероятности и последствий, а также выбор оптимальных стратегий управления рисками.

Для оценки рисков применяют следующие методы.

Качественный анализ основан на экспертных оценках и включает в себя идентификацию потенциальных угроз, их классификацию и ранжирование по степени опасности.

Количественный анализ предполагает использование математических моделей и статистических методов для оценки вероятности и последствий рисков.

Метод Дельфи — это метод экспертных оценок, который предполагает многократный опрос экспертов с целью достижения консенсуса по поводу оценки рисков.

Метод “Дерево отказов” — это графический метод, который позволяет визуализировать причинно-следственные связи между различными факторами и потенциальными угрозами.

Метод анализа сценариев предполагает разработку нескольких сценариев развития событий с учётом различных факторов и оценку их вероятности и последствий.

Оценка рисков на промышленных предприятиях является неотъемлемой частью системы управления безопасностью. Для эффективной оценки рисков необходимо использовать комплексный подход, сочетающий качественные и количественные методы.

Библиографический список

1. ГОСТ Р МЭК 31010-2021. Надёжность в технике. Методы оценки риска.
2. Приказ Минтруда России от 28 декабря 2021 г. №926 «Об утверждении Рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков по снижению уровней таких рисков».

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

АНАЛИЗ ПРИЧИН И ПРОФИЛАКТИКА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА НА ПРЕДПРИЯТИИ

Производственный травматизм остаётся острой проблемой Российских предприятий. В 2024 году пострадали 21,4 тыс. человек, из них 1,04 тыс. – со смертельным исходом, при этом за последние три года число пострадавших выросло на 1,1 тыс. Минтруд России констатирует рост производственного травматизма.

В 2024 году травматизм зафиксирован на 10 644 предприятиях (6,6% от общего числа). Наиболее травмоопасные виды несчастных случаев: падение с высоты (22,7%), воздействие движущихся предметов и машин (19%), транспортные происшествия (17,5%). Растёт число скрываемых происшествий: с 600 в 2019 году до более 1600 в 2024 году (данные Роструда).

К основным причинам производственного травматизма можно отнести следующие: неудовлетворительная организация производства работ (22,6% тяжёлых несчастных случаев, из них более 60% – из-за недостаточного контроля руководства); небезопасные действия работников (по экспертным оценкам, 88% травм обусловлены человеческим фактором); нарушение правил дорожного движения (13% тяжёлых несчастных случаев); нарушение технологического процесса (8,2%); пренебрежение средствами индивидуальной защиты (СИЗ) как со стороны работодателей, так и работников.

Профилактические мероприятия, которые являются наиболее эффективными для снижения травматизма: внедрение системы управления охраной труда с идентификацией опасностей и оценкой рисков, регулярные инструктажи (вводный, первичный, повторный не реже 1 раза в 6 месяцев, внеплановый, целевой), обеспечение СИЗ и контроль их использования, мониторинг технического состояния оборудования, своевременный ремонт, финансирование предупредительных мер за счёт средств СФР, разработка ежегодного плана мероприятий по улучшению условий труда.

Библиографический список

1. Отчёт ВНИИ охраны и экономики труда Минтруда России «Анализ причин тяжёлых несчастных случаев на производстве в РФ», 2025.
2. Данные Федеральной службы по труду и занятости (Роструд) за 2019–2024 гг. (статистический сборник «Производственный травматизм в РФ», 2025).

*Л.Ю. Домахина, студ.; рук. А.К. Соколов, д.т.н., проф.,
(ИГЭУ. г. Иваново)*

О БЕЗОПАСНОСТИ ЛЕСТНИЦ В ЗДАНИЯХ ИГЭУ

Одним из опасных объектов в общественных и административных зданиях являются лестницы, которые служат для обеспечения вертикальных связей между этажами зданий. Технические требования к элементам конструкции лестниц (ступени, перила, площадки и др.) описаны в нормативных документах [1, 2, 3 и др.].

Опасность лестниц заключается в повышенном риске падения человека на ступени или в межлестничный пролет. Лестничные перила снижают вероятность падения человека в пролет, а степень тяжести травмирования в результате падения в межлестничный пролет понижают горизонтальные сетки. Степень опасности падения на ступени лестниц зависит от направления движения человека. Очевидно, что падение при спуске по лестнице наиболее травмоопасно.

В современных зданиях России лестницы строятся, как правило, с поворотом налево, а перила размещают слева. Поскольку большинство людей являются правшами, при более опасном спуске вниз, особенно в случае чрезвычайных ситуаций, они могут удерживаться за перила более сильной правой рукой.

Интересно, что правило строительства лестниц с поворотом налево и размещением перил слева, которое фактически выполняется, не указано в нормативных документах.

Нами проведен анализ межэтажных лестниц в зданиях ИГЭУ. Установлено, что лестницы в более новом корпусе Д построены с поворотом налево с перилами размещенными слева. Для некоторых лестниц корпуса Б и В и всех лестниц самого старого корпуса А это правило не выполняется. Нами предложены сравнительно простые решения, которые позволяют повысить степень безопасности перемещения людей по лестницам ИГЭУ.

Библиографический список

1. СП 118.13330.2022 Общественные здания и сооружения..
https://rkc56.ru/attach/orenburg/docs/Gosstandart_RF/sp_118_13330_2022_.pdf.
2. ГОСТ 25772-2021 Ограждения металлические лестниц, балконов, крыш, лестничных маршей и площадок. Общие технические условия.
3. Требования действующих нормативных документов к лестницам и ограждениям кровли.
<https://ceiis.mos.ru/presscenter/news/detail/6908995.html>

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

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИИ

Культура безопасности труда (КБТ) представляет собой совокупность разделяемых руководством и персоналом ценностей, убеждений, норм поведения, компетенций и моделей организационных практик, которые определяют приоритет безопасности труда над производственными и коммерческими задачами во всех аспектах деятельности предприятия.

Анализ структуры действующей системы управления охраной труда (СУОТ) на предприятии позволил выявить ключевые системные проблемы в функционировании системы управления охраной труда, среди которых наиболее значимыми являются преобладание формального подхода над риск-ориентированным мышлением, недостаточное развитие поведенческой составляющей и внутренней мотивации работников, слабая эффективность обучения, основанного на инструктажах, и отсутствие цифровых инструментов для анализа данных. Такая СУОТ представляет собой формально-реактивную модель, которая адекватна для выполнения минимальных законодательных требований, но неэффективна для построения устойчивой культуры безопасности, предупреждения инцидентов и глубокого вовлечения персонала. Поэтому требуется качественная трансформация подхода: переход от модели «соблюдения правил» к модели «понимания и управления рисками», а от внешней мотивации – к формированию внутренней ответственности и ценностного отношения к безопасности у каждого сотрудника. Совершенствование СУОТ возможно путем внедрения элементов КБТ, структурированных по трем направлениям: повышение личной осознанности и вовлеченности работника, развитие практических навыков через интерактивные форматы и создание поддерживающей социальной среды с системой нематериального признания. Особое внимание уделено интеграции инструментов КБТ в ежедневные процессы (STOP-карты, пятиминутки безопасности, мастер-классы).

Библиографический список

1. Приказ Минтруда России от 29.10.2021 г. №776н “Об утверждении примерного положения о системе управления охраной труда”

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

ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ В НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ АКТАХ ПО ОХРАНЕ ТРУДА

Анализ изменений в законодательстве по охране труда позволяет определить ключевые нововведения в законодательстве и точные сроки их вступления в силу, оценить воздействие на обязанности работодателя и внутренние процессы организации, сформировать рекомендации по адаптации к новым требованиям охраны труда, минимизировать риски ответственности и повысить эффективность системы управления охраной труда (СУОТ). Ниже приводится перечень лишь некоторых нормативных актов, которые рассматривались и на основании которых анализировались вводимые изменения в области охраны труда:

- Приказ Минтруда России № 237н от 25.04.2024;
- Приказ Минтруда России № 817н от 21.11.2024;
- Приказ Минтруда России № 122н от 19.03.2024;
- Приказ Минздрава России № 262н от 24.05.2024;
- Приказ Минтруда России № 398н от 09.08.2024;
- Приказ Минздрава России № 220н от 03.05.2024;
- Приказ Минтруда России № 347н от 11.07.2024;
- Приказ Минтруда России № 287н от 29.04.2025;
- Приказы Минтруда России № 191н и № 192н от 09.04.2025, № 197н и № 198н от 10.04.2025 и др.;
- Приказ Минздрава России № 392н от 02.07.2025;
- Приказ Росстата России № 348 от 22.07.2025;
- Приказ Росстандарта России № 423-ст от 16.05.2025;
- Приказы Минтранса России № 159, № 160 от 14.04.2026,
- Постановление Правительства РФ № 39 от 26.01.2026;

Можно констатировать, что законодательство переходит от формального контроля к профилактике рисков и цифровой экосистеме. Работодателям рекомендуется ежеквартально отслеживать изменения в нормативных актах и оперативно актуализировать локальные акты организации, инвестировать в цифровые инструменты и обучение персонала, оценивать риски, учитывать микротравмы и проводить профилактические мероприятия. Следование указанным рекомендациям окупается снижением травматизма, позволяет избежать штрафов надзорных органов, что становится конкурентным преимуществом организации.

СЕКЦИЯ 12
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ

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

Секретарь –
ассистент **Фадеева М.С.**

*А.А. Марченков, И.Н. Фролов, студ.; рук. В.В. Малышкин, ст. преп.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ**

Современные оптико-электронные проекционные системы прошли путь от аппаратов с электронно-лучевыми трубками до компактных цифровых комплексов. Разработка высокоэффективных оптических трактов требует прецизионной юстировки дихроичных зеркал для корректного разделения спектра на RGB-составляющие. Интеграция дифференциальных схем включения излучателей позволяет эффективно компенсировать постоянную составляющую фоновой засветки. Основными технологиями модуляции света на сегодняшний день являются LCD и DLP. В LCD-системах свет проходит через три независимые матрицы, где кристаллы меняют прозрачность под действием сигнала. Интеграция дифференциальных схем управления матрицами минимизирует межканальные наводки и повышает контрастность изображения. В DLP-устройствах формирование картинки происходит за счет отражения от миллионов поворотных микрозеркал чипа DMD. Алгоритмы глубокого обучения, внедренные в видеопроцессор, способны эффективно подавлять стохастические помехи и «эффект радуги» в динамических сценах.

Перспективным направлением является переход к лазерным источникам света. Использование предиктивной аналитики на базе ПЛИС позволяет корректировать мощность лазеров в реальном времени, предотвращая тепловой дрейф компонентов. Лазерные технологии обеспечивают рекордный цветовой охват и долговечность службы прибора. Внедрение протоколов аппаратного самотестирования гарантирует надежность работы проекционных систем в составе автоматизированных рабочих мест. Комплексный подход к проектированию ОЭП существенно повышает качество визуализации данных в современных энергосистемах.

Библиографический список

1. Проектор // Википедия [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Проектор> (16.02.2026).
2. Как работают проекторы // Projector [Электронный ресурс]. URL: <https://707.su/5W3b> (16.02.2026).
3. Принципы устройства проекторов // Компьютерра [Электронный ресурс]. URL: <https://old.computerra.ru/> (16.02.2026).
4. Laser Projection Technology Review // IEEE Optoelectronics. 2025. Vol. 12. No. 3.

*В.Д. Гайдаенко, асп.; рук. В.Д. Локтионов, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», АО «ЭНИЦ»)*

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ НА ГРАНИЦАХ ОКСИДНОЙ ФАЗЫ В СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ВАННЕ РАСПЛАВА КОРИУМА НА ЕГО ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ В УСЛОВИЯХ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ В ЯЭУ

Представлен анализ влияния температурных условий на боковой и верхней поверхностях оксидного слоя расплава с внутренним тепловыделением на характеристики теплообмена (значения чисел Нуссельта, тепловые потоки) на этих граничных поверхностях в случае стратификации расплава кориума внутри корпуса ядерного реактора при тяжелой аварии (ТА) [1]. Многопараметрический анализ теплового состояния слоя и условий теплообмена на его поверхностях выполнялся при варьировании теплофизических свойств оксидного слоя, геометрии ванны расплава, объемного тепловыделения и граничных условий (1-го рода) при высоких (свыше 10^{13}) числах Рэлея. Получены осредненные значения характеристик теплообмена для серии численных экспериментов, выполненных с помощью CFD-моделирования расчетным кодом ANES. На основе полученных характеристик теплообмена были определены корреляции для чисел Нуссельта для боковой и верхней поверхностей оксидной фазы расплава. В работе приведено сравнение найденных корреляций для чисел Нуссельта с известными экспериментальными данными, полученными на установках с различными типами имитатора оксидного расплава и его геометрического масштаба [2]. Результаты работы могут быть использованными при анализе тяжелых аварий в ЯЭУ и в расчетных программах, предназначенных для выполнения подобного анализа.

Библиографический список

1. Theofanous, T.G., Liu, C., Additon, S., Angelini, S., Kymäläinen, O., Salmassi, T., 1996. In vessel Coolability and Retention of a Core Melt. DOE/ID-10460. U.S. Department of Energy Vol. 1.
2. Hongyang Wei, Yi-Tung Chen, Jie Cheng, 2018. Review of experimental study on melt pool natural convection behavior. Annals of Nuclear Energy. V. 122, P. 101-117.

**В.Р. Ефремов, асп.; рук. А.М. Панкин, д.т.н.
(СПбПУ, г. Санкт-Петербург)**

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТИ ПЕРВОГО СТОЛКНОВЕНИЯ НЕЙТРОНОВ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО В ОДНОСКОРОСТНОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

Экспериментальные исследования в ядерной физике сопряжены с трудоемким процессом накопления и обработки статистических данных и необходимостью многократного повторения опытов для достижения требуемой точности, что делает данный подход крайне ресурсозатратным. В связи с этим широкое распространение получили численные методы и компьютерные алгоритмы, позволяющие эффективно моделировать процессы.

В рамках проведенной работы был разработан геометрический модуль для расчета хорд в многозонных ячейках шестигранной решетки от места рождения нейтрона до его выхода из тепловыделяющей сборки (ТВС). Также данный модуль позволяет собирать ТВС из набора разных типовых ячеек, которые в свою очередь разделены на следующие зоны:

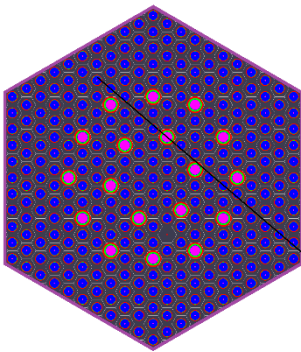


Рис 1. Визуализация одной истории нейтрона в разработанной программе

1) для твэлов: центральное газосборное отверстие – топливо – газовый зазор между топливом и оболочкой – оболочка твэл – теплоноситель;

2) для поглощающих стержней: поглощающий элемент – оболочка поглощающего элемента – зазор – оболочка канала – теплоноситель;

3) для датчиков прямого заряда: эмиттер – изоляция – коллектор – теплоноситель.

В будущем планируется дополнить программу модулем расчета вероятности первого столкновения в соответствии с [1].

Библиографический список

1. Еперин А.П. Основы физики и эксплуатации ядерных энергетических установок: учебное пособие/ А. П. Еперин, А. М. Панкин. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – 237 с.

*Е. А. Нужнов, Т. Д. Бычков, студ.; рук. А. А. Сатаев, к.т.н.
(НГТУ им. Р. Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)*

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАВИТАЦИИ В ЦЕНТРОБЕЖНОМ НАСОСЕ

В гидродинамике циркуляционных насосов энергетических установок одной из главных проблем остаётся кавитация – процесс, при котором в областях локального падения давления зарождаются и разрушаются пузырьки пара и газа. Её появление чревато рядом негативных последствий: эрозией рабочих поверхностей, вибрацией, а также кавитационным срывом, приводящим к резкому падению энергетических показателей.

Целью и задачей работы являются: численное моделирование кавитации в центробежном насосе по параметрам физического эксперимента и наблюдение этого физического процесса.

Разработана математическая модель, повторяющая геометрию реального насоса. В качестве исходных данных для моделирования были использованы параметры физического эксперимента: объёмный расход на входе в насос и полное давление на выходе из него.

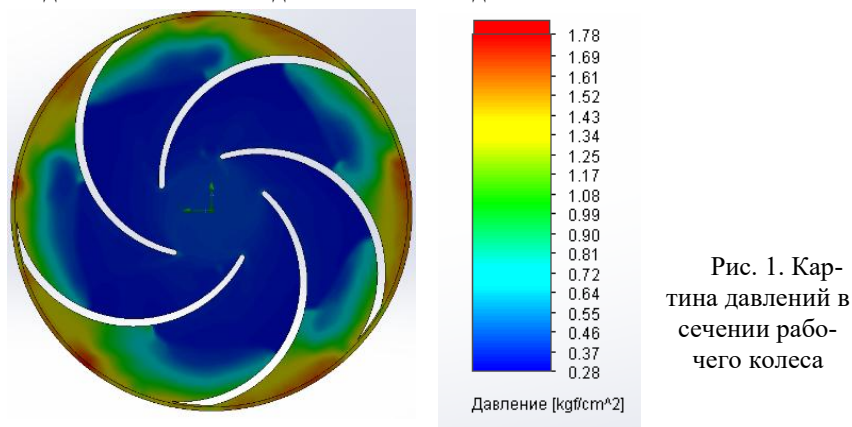


Рис. 1. Картина давлений в сечении рабочего колеса

На картине давлений в сечении рабочего колеса (рис. 1) видно, что на входе (на картине - по центру) в рабочее колесо давление ниже атмосферного, следовательно в сечении входного трубопровода мы будем наблюдать кавитацию.

Библиографический список

1. Смородов Е. А. Физика и химия кавитации / Е. А. Смородов, Р. Н. Галияхметов, М. А. Ильгамов. — Москва: Наука, 2008. — 225 с.

*Н.А. Новиков, студ.; рук. В.Н. Денисов, д.т.н, доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРОЗАЩИТЫ ОБОРУДОВАНИЯ С ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ В СРЕДЕ SIMINTECH

«SimInTech» – это среда динамического моделирования технических систем, предназначенная для расчётной проверки работы систем управления сложными техническими объектами [1]. Программа позволяет уйти от ручного решения дифференциальных уравнений.

Для численного исследования вибраций в одностепенной системе на практике можно применять пакет «Simintech». Основой для моделирования служит уравнение движения второго порядка [2]:

$$\begin{cases} mx'' + \beta x' + kx = mg + F_3; \\ x(0) = 0. \end{cases}, \quad (1)$$

$$\begin{cases} x' = x_1; \\ x_1 = \frac{1}{m} (g + F_3 - \beta x - kx). \end{cases} \quad (2)$$

где m – масса аппарата, кг; k – жесткость пружины, $\frac{\text{кН}}{\text{м}}$; n – кол-во пружин; ξ – коэф. демпфирования.

Для составления структурной схемы используются библиотечные блоки: интеграторы, усилители, сумматоры, источники сигнала, блоки вывода.

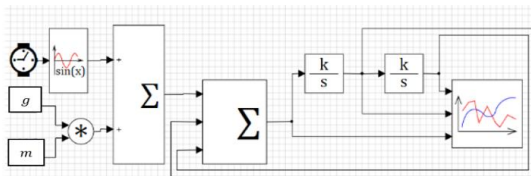


Рис. 1. Типовая структурная схема для моделирования виброизоляции в SimInTech.

В программной среде «SimInTech» разработаны модели виброзащиты оборудования [3]. Данная модель позволяет исследовать и оптимизировать виброизоляцию агрегатов с динамической нагрузкой.

Библиографический список

- Куликова, М. Г. Моделирование технологического оборудования в пищевой промышленности / М. Г. Куликова, Л. В. Кончина // Естественные и технические науки. – 2017. – № 5(107). – С. 126-127. – EDN YTW0EV.
- Вибродиагностика, триботехника, вибрация и шум: моногр. сборник/Под ред. А.А.Санникова, Н.В.Куцубиной. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2009. – 416 с.
- Патент на полезную модель № 182465 U1 Российская Федерация, МПК B01F 11/00, B01F 7/18. Роторный смеситель с электромеханическим вибровозбудителем : № 2018122260 : заявл. 19.06.2018 : опубл. 20.08.2018 / В. Н. Денисов, С. П. Курилин, М. Г. Куликова, Т. М. Хрисаненкова. – EDN VXVGUC.

*А.А. Фрякин; рук. С. М. Кузьмин, к.х.н., (ИГЭУ, г. Иваново);
В.И. Парфенюк, д.х.н., проф., (ИХР РАН, г. Иваново)*
**ФОТОАКТИВНЫЕ ПЛЁНКИ НА ОСНОВЕ
ПОРФИРИНОВ**

Благодаря физико-химическим свойствам полипорфирины могут быть использованы в различных областях: в органических фотоэлектрических устройствах, в оптических переключателях и модуляторах, фото- или электрокатализе, нелинейной оптике, наноматериалах для фотодинамической терапии и фотоинактивации микроорганизмов [1, 2]. Впервые различными методами получены полипорфириновые пленки на ИТО-подложках на основе 5,10,15,20-тетракис(4-гидрокси-фенил)порфирина и 5,10,15,20-тетракис(4-аминофенил)порфирина. Регистрацию фотоотклика плёнок выполнили при различной освещённости образцов и при варьировании спектрального диапазона излучения. Полученные результаты (Рис. 1) позволяют сравнить плёнки на основании амплитуд фотооткликов и характерных времён переходных процессов.

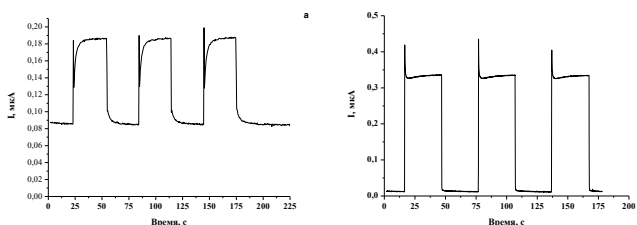


Рисунок 1 – График значений фотооткликов при интенсивности излучения 100% без полосовых фильтров: а – для 5,10,15,20-тетракис(4-гидрокси-фенил)порфирина; б – для 5,10,15,20-тетракис(4-аминофенил)порфирина

Библиографический список

1. Zhang, X., A historical perspective on porphyrin-based metal–organic frameworks and their applications. / Zhang, X., Wasson, M.C., Shayan, M., et. all. // Coord. Chem. Rev. - 2020. V. 429. P. 213615.
2. Carlo, G.D., β -Substituted ZnII porphyrins as dyes for DSSC: A possible approach to photovoltaic windows. / Carlo, G.D., Biroli, A.O., Tessore, F., Caramori, S. // Coord. Chem. Rev. - 2018. V. 358. P. 153–177.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект №24-13-00010.

*П.И. Киян, студ.; рук. Г.А. Шмелева, доц., к.п.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВИЗУАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ГОЛОГРАФИИ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ

Традиционно обучение студентов в ВУЗах проводится через лекции – систематическое, последовательное монологическое изложение учебного материала с последовательным конспектированием и заучиванием материала. Однако не все темы могут усваиваться студентами без визуализации. Конкретно голография – это метод записи и воспроизведения трехмерных изображений объектов, основанный на интерференции световых волн (обычно лазерных). Оптическая голография, изучаемая в общем курсе физики, подразумевает демонстрацию не только теоретических схем, но и наглядную визуализацию процессов работы голографии и ее результаты.

Лекция такого типа проводится вдвоём: преподавателем и студентом, подготовившим актуальные и исчерпывающие примеры. Преподаватель, как специалист, корректирует работу студента и дополняет его рассказы, а студент совершенствует навыки публичного выступления и учится излагать подготовленный материал. Особенностью такой лекции становится обогащение представлений о голографии и развеивание мифов о голограммах и голограммоподобных иллюзиях, а также возможность для слушателей впоследствии попробовать самим отличить одно от другого.

Голографию можно представить как красочный и привлекающий внимание объект. Например, в Санкт-Петербурге существует музей оптики, в котором представлены полноценные голограммы предметов. Их можно обходить с разных сторон и изучать как настоящие.

Результатом такой лекции становится более глубокое и осознанное понимание голографии и принципа ее работы, возникает мотивация к изучению физики. Студент получает обратную связь о своей работе и анализирует ее результаты.

Библиографический список

1. Слабко В.В. Принципы голографии // Соросовский образовательный журнал. - 1997 - №7. - с. 87-94
2. МУЗЕЙ ОПТИКИ ИТМО. MAGIC OF LIGHT // TARTANPARTY URL: <https://tartanparty.blogspot.com/>

*С.Р. Голубев, студ; рук Н.В. Мацин, ст.пр.; К.А. Сторожун,
студ. (НГТУ, Нижний Новгород)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ ЛЕГКОКИПАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ ФК-5-1-12 МЕТОДОМ VOF

Вариативность теплообменных поверхностей и выбор подходящей жидкости для решения инженерных задач по оптимизации теплообменных процессов ставят создаёт для исследователей неопределённость. Одним из способов её разрешения является проведение комплексных экспериментальных исследований. Однако высокая стоимость и химическая агрессивность некоторых исследуемых хладагентов по отношению к конструкционным материалам и окружающей среде делают такой подход в ряде случаев неоправданным. Современные тенденции развития вычислительных комплексов и программных продуктов актуализируют применение численного моделирования как наиболее оптимального решения подобных задач.

Современные успехи в моделировании однофазных потоков заложили прочную основу к переходу к более сложным двухфазным процессам, таким как пузырьковое и плёночное кипение. Не смотря на успехи некоторых исследователей, моделирование двухфазных потоков, в особенности, связанных с фазовым переходом, является трудоёмкой математической и физической задачей из-за большого количества факторов, влияющих на конечный результат. По этой причине требуются дополнительные вычислительные исследования в данном направлении.

В рамках настоящей работы, проведено вычислительное исследование с использованием легкокипящей диэлектрической жидкости ФК-5-1-12. Численное моделирование проводилось в программном комплексе Ansys Fluent с использованием модели испарения-конденсации Lee. Полученные результаты сравнивались с экспериментальными данными при конденсации и кипении на плоской медной пластине.

Результаты работы получены в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (тема № FSWE-2026-0005 «Особенности процессов тепло и массообмена в оборудовании систем преобразования энергии»).

**Крапостин Я.А., Пиголкин А.П., Неманов Я.А. уч.;
рук. М.Ю. Угаров, студ. (ИГЭУ, г. Иваново)**

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАТИВЫ ТОПЛИВА СОВРЕМЕННЫХ АЭС

Индивидуальный проект «Топливо для АЭС: что это такое и каковы его особенности?» разработан в Школе инженерного лидерства при ИГЭУ, которая стартовала при поддержке Концерна «Росэнергоатом». Целями проекта были повышение осведомленности в данной области, объяснение значимости ядерно-топливного цикла и поиск альтернатив урановому топливному циклу.

В процессе изучения для сравнения были выбраны два перспективных вида топлива: диоксид урана (UO_2) и диоксид тория (ThO_2). Данные виды выбраны в силу того, что подходят для реакторов на тепловых нейтронах (прим. ВВЭР), которые имеют широкое распространение.

Сравнение диоксидов урана и тория приведено в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение UO_2 и ThO_2

Характеристика	UO_2	ThO_2
Температура плавления, °C	≈2800	≈3300
Теплопроводность, Вт/(м*К)	8,5	14,5
Поведение при авариях с паровым воздействием	Наблюдается плавление топливных стержней из-за падения теплопроводности	Теплопроводность остается достаточно высокой для отвода избыточного тепла
Образование нового делящегося материала	Образуется Pu-239	Образуется U-233
Реакция с металлами и теплоносителями	Умеренная (продукты распада)	Имеет радиоактивность за счет радоновых продуктов распада при высоких температурах
Технология изготовления	Отработанная, промышленно освоенная	Разработана, но менее распространена
Опыт промышленной эксплуатации	Обширный (десятилетия)	Ограниченный (исследовательские реакторы, отдельные проекты)

При всех плюсах альтернативных вариантов видов топлива диоксид урана (UO_2) на настоящий момент остаётся лидером в материалах ядерного топлива. Необходимо развивать ториевое, плутониевое, нитридное и другие направления в энергетике из-за их потенциала для обеспечения запаса сырья, вывода российских науки и энергетики на новый уровень и обеспечения преимущества страны в будущем.

*Пиголкин А.П., Крапостин Я.А., Неманов Я.А. уч.;
рук. М.Ю. Угаров, студ. (ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ ТВЭЛ В ПО COMSOL MULTIPHYSICS

Индивидуальный проект «Топливо для АЭС: что это такое и каковы его особенности?» разработан в Школе инженерного лидерства при ИГЭУ, стартовавшая при поддержке Концерна «Росэнергоатом». Целями проекта были повышение осведомленности в данной области, объяснение значимости ядерно-топливного цикла и поиск альтернатив урановому топливному циклу. Профорентация по физике во внеурочной деятельности развивает интерес у школьников к техническим профессиям и помогает связать науку с будущей работой школьников.

Для наглядной иллюстрации распределения температуры по тепловыделяющему элементу (ТВЭЛ) ВВЭР-1000 с урановой топливной загрузкой (UO_2 , обогащение по урану-235 5%), процесс был смоделирован в ПО COMSOL Multiphysics. Результаты представлены на рис. 1.

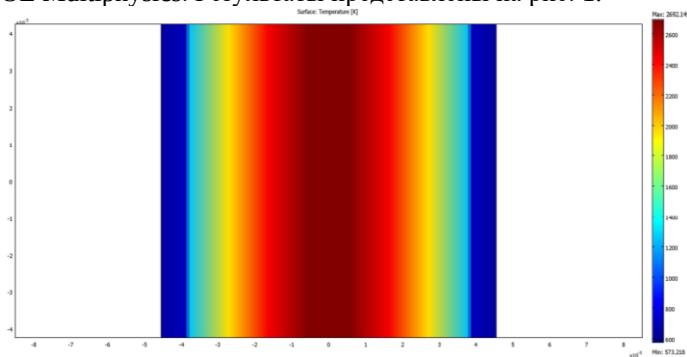


Рис. 1. Распределение температуры по ТВЭЛу в ПО COMSOL Multiphysics

Исходя из полученных в результате моделирования данных, можно наглядно увидеть, что самая большая температура в ТВЭЛе образуется в его центре. По условиям радиационной безопасности нельзя допустить расплавление топлива, так как это может привести к крупной радиационной аварии даже с учётом современных систем безопасности.

Моделирование процесса наглядно показывает важность правильного выбора материала в качестве ядерного топлива для исправной работы атомных станций по всему миру и недопущения радиоактивных аварий.

*Неманов Я.А., Крапостин Я.А., Пиголкин А.П. уч.;
рук. М.Ю. Узаров, студ. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Индивидуальный проект «Топливо для АЭС: что это такое и каковы его особенности?» разработан в Школе инженерного лидерства при ИГЭУ, стартовавшей при поддержке Концерна «Росэнергоатом». Целями проекта были повышение осведомленности в данной области, объяснение значимости ядерно-топливного цикла и поиск альтернатив урановому топливному. Проект подчеркивает важность развития профессиональных компетенций у школьников, формирует интерес к физике, помогает сделать осознанный выбор профессии.

К 2042 году в России планируется увеличить долю АЭС в электроэнергетике с 19% до 24%, что увеличит расход сырья для производства ядерного топлива. Необходимо рассмотреть альтернативные варианты ядерного топлива для создания запаса сырья.

В таблице 1 представлены характеристики некоторых видов ядерного топлива, рассмотренные альтернативой для уранового топлива.

Таблица 1. Свойства некоторых видов топливных материалов

Вещество	Плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Теплоёмкость, Дж/(моль·К)	Температура плавления, °С
U	19,12	25,0	32,60	1133
Pu	19,86	3,3	32,77	640
Th	11,72	37,6	26,23	1695
UO₂	10,97	8,5	58,31	2800
PuO₂	11,46	6,3	56,17	2390
ThO₂	10,13	14,5	61,76	3300
UC	13,63	26,0	45,14	2525
PuC	13,99	9,0	47,20	1654
ThC	10,65	8,7	45,14	2630
UN	14,32	17,0	47,70	2850
PuN	14,23	8,0	53,35	2589

Одними из важных параметров для выбора материала ядерного топлива является температура плавления материала и теплопроводность. Кроме температуры плавления при выборе топлива необходимо учесть степень разработки технологий каждого топлива, инфраструктуру, а также доступность материалов.

Оценка и анализ характеристик материалов для топлива являются одной из важных задач для при проектировании АЭС и дальнейшей эксплуатации.

*И. В. Волков, К.П. Яблоков, Д. А. Карпук, студ.;
рук Н.Г. Демьянцева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЗВУКОВОГО СИГНАЛА С ПОМОЩЬЮ МОДИФИЦИРОВАННОГО TOSLINK-КОНВЕРТОРА

Рассмотрена структурная схема беспроводной передачи аналогового звука через оптический канал. Сигнал от ПК поступает на АЦП, затем на модифицированный TOSLINK-конвертор, управляющий лазерным диодом. Приёмник с фотодетектором и ЦАП восстанавливает сигнал на колонках. Сравнение источников светового сигнала приведено в таблице.

Таблица 1 – Сравнение источников светового сигнала

Тип источника	Подключение	Характеристика
Светодиод	SGN/GND	Дальность до 2 м, высокая расходимость луча
3В лазер	SGN/GND	Дальность до 10 м, нестабильность мощности
3В лазер модифицированный	GND, SGN, +5В	Линейный режим, макс. отношение сигнал/шум

Преимущества: электромагнитная совместимость (не создаёт помех для работы других устройств и устойчива к внешним помехам), передача без сжатия (PCM (Pulse Code Modulation) – это импульсно-кодовая модуляция, высокая пропускная способность (отсутствие необходимости сжатия данных перед передачей, что экономит время, вычислительные мощности и сохраняет информацию в полном объёме) основной цифровой способ представления аналоговых сигналов (звук, видео)), конфиденциальность (узкая направленность светового луча усложняет перехват данных на этапе передачи данных), задержка менее 1 мс.

Недостатки: низкая дальность передачи (система в существующем виде не может передавать данные на расстояния более 20 м), зависимость от тумана и пыли (сигнал может быть потерян или искажён при загрязнении среды распространения), необходимость точной юстировки (точное сопоставление приёмника и передатчика на одной прямой, что не всегда возможно, для решения проблемы в рамках собранной системы на приёмнике установлен рассеиватель), чувствительность к внешней засветке (доаточно сильный внешний источник свет может быть считан приёмником, как сигнал), отсутствие коррекции ошибок.

Применение: домашние кинотеатры, цеха с сильными ЭМ-полями, скрытые каналы связи.

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

ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА УПРОЩЁННЫХ МОДЕЛЯХ КАК ЭТАП ОБОСНОВАНИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСЧЁТОВ ЭЛЕМЕНТОВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ВТГР

В рамках обоснования теплогидравлической надежности высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов (ВТГР) важной задачей является валидация моделей турбулентности, применяемых в CFD-кодах для прогнозирования гидродинамических характеристик потока теплоносителя. В работе представлены результаты расчетно-экспериментальных исследований гидродинамики течения на двух упрощенных аэродинамических моделях, воспроизводящих различные элементы первого контура реактора [1].

Первая модель представляла собой упрощенную геометрию нижнего собирающего коллектора с подводящими каналами, имитирующими выход струй из активной зоны. Вторая модель - центральное продольное сечение топливной колонны, которая включала каналы охлаждения, канал ПС СУЗ и каналы имитирующие межблочные радиальные зазоры.

Экспериментальные исследования на обоих стендах проводились в изотермической постановке с применением метода лазерной доплеровской анемометрии в диапазоне штатных чисел Рейнольдса. Численное моделирование выполнялось в программном комплексе ANSYS CFX.

Выполненные исследования подтвердили эффективность ступенчатого подхода к валидации CFD-моделей с использованием упрощенных моделей. Полученные данные позволили выбрать модели турбулентности, показавшие наилучшее согласование с экспериментом при воспроизведении структуры потока в элементах первого контура ВТГР. Результаты валидации могут быть использованы в качестве базы данных для полномасштабных теплогидравлических расчетов активной зоны

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

Библиографический список

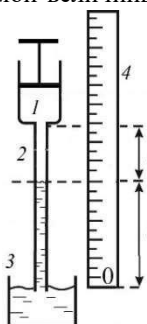
1. Курицин, Д.Д. Расчетно-экспериментальные исследования струйного смешения в упрощенной геометрии нижнего собирающего коллектора ВТГР / Д.Д. Курицин, А.А. Добров, Д.В. Доронков, А.А. Маринин, Д.С. Николаев, А.В. Рязанов, М.А. Легчанов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2025. № 4. С. 68-78.

*А.А. Соколовский, М.Ю. Коробенин, В.В. Калинин, студ.;
рук. И.П. Игошин, к.ф.-м.н., доц. (ИГЭУ г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ ВОДЯНЫМ БАРОМЕТРОМ

Развитие лабораторного практикума, учитывающее уровень довузовской экспериментальной подготовки студентов младших курсов, несомненно, является важным аспектом учебно-методической работы.

На кафедре физики ИГЭУ в практикуме по разделу «Молекулярная физика и термодинамика» реализован только один тип лабораторных работ (результаты измерений используются для вычисления исследуемой величины по расчетной формуле). Очевидно, что необходимо ре-



ализовать работу, в которой по результатам измерений, требуется построить «график зависимости» и, используя математический анализ известной функции, определить исследуемую величину. Мы предлагаем использовать методику экспериментальной задачи [1] в которой, атмосферное давление является одним из постоянных коэффициентов в уравнении изотермического процесса для воздуха.

На рисунке изображена схема лабораторного стенда, где: 1 – сосуд, закрытый регулируемого объема, 2 – трубка гибкая, прозрачная, 3 – открытая емкость для воды, 4 – линейка с изменяемым положением отметки «0».

Трубка (2) полностью заполняется водой из емкости (3) в горизонтальном положении. Объем воздуха в сосуде (1) V_0 , его давление p_0 равно атмосферному давлению. Трубка устанавливается в вертикальное положение при произвольной высоте сосуда («0» линейки (4) устанавливается на уровне воды в открытой емкости). Объем воздуха при этом увеличивается, а его давление уменьшается. Измеряется высота уровня воды (h) и длина воздуха в трубке (l) при различных положениях сосуда. Из уравнения изотермического процесса получаем зависимость $h=f(l)$. Так как, $Sl << V_0$, пренебрегаем произведением Sl в знаменателе

$$p_0 V_0 = (p_0 - \rho gh)(V_0 + Sl) \quad h = \frac{p_0 S}{\rho g (V_0 + Sl)} \cdot l \quad h = \frac{p_0 S}{\rho g V} \cdot l$$

По графику $h=f(l)$ определяем угловой коэффициент линейной функции и вычисляем атмосферное давление p_0 .

Библиографический список

1. Д. Перевошиков, Д. Рубцов Задача №10-E1, Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап, экспериментальный тур. М. 2025, с.26-27.

*Д.М. Баранов, студ.;
рук. Г.А. Шмелёва, к.п.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ И ПОСТРОЕНИЕ ФАЗОВЫХ ПОРТРЕТОВ ПРИ ПОМОЩИ ОНЛАЙН ТЕХНОЛОГИЙ

Фазовый портрет — это совокупность фазовых траекторий динамической системы, изображённых в фазовом пространстве. Он позволяет наглядно представить поведение системы, определить её качественные свойства и режимы работы.

Для быстрого и точного решения с возможностью внесения изменений можно использовать PhaPl — веб-приложение для автоматического построения и исследования фазовых портретов на плоскости. Оно использует библиотеки SymPy, PyPy.js, MathJax, LZMA-JS и выполняется в веб-браузере. позволяют быстро экспериментировать с разными параметрами системы, обеспечивают интерактивность и наглядность визуализации, сокращают время на подготовку и анализ результатов.

В работе предложен пример задачи со стабильным фокусом(рис.1).

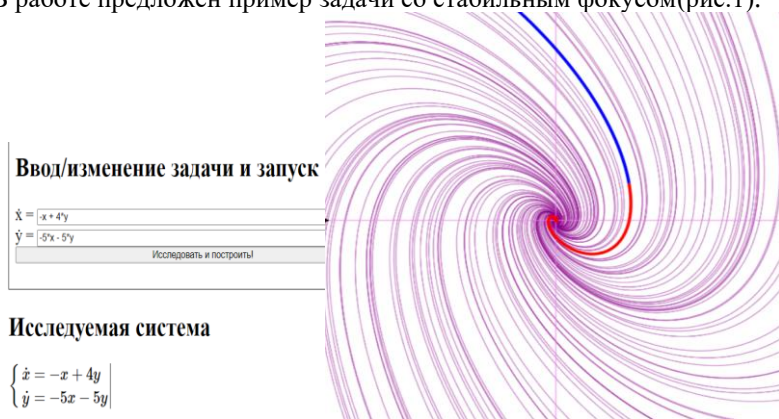


Рис.1

<https://phapl.github.io/phapl.ru.html>

*А.П. Химченко, студ., П.Д. Напелёнок, студ.;
рук. О.Ю. Гусарова, Г.А. Рудченко, к.э.н., доц.
(ГГТУ им. П. О. Сухого, г. Гомель)*

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Цифровые двойники – одна из ключевых технологий цифровой трансформации энергетики, которые позволяют создавать виртуальные копии реальных объектов, моделировать процессы, прогнозировать риски и обучать персонал без воздействия на функционирующее оборудование. Рассмотрены три практических кейса внедрения цифровых двойников в Республике Беларусь.

Цифровой двойник БелАЭС создан на платформе Multi-D, объединяющей 13 технологий, включая искусственный интеллект, машинное обучение и облачные вычисления [1]. Центральный пункт управления в административно-лабораторно-бытовом корпусе обеспечивает руководство сменой и связь с блочным пунктом управления, контролируя параметры работы станции [2].

В январе 2026 года на Минской ТЭЦ-4 введён цифровой тренажёрный комплекс совместного российско-белорусского производства. Он позволяет обучать оперативный персонал и отрабатывать аварийные ситуации. Принято решение о тиражировании опыта на 12 тепловых станциях высокого давления во всех областях Беларуси [3].

В сентябре 2025 года в Полоцком государственном университете открыта лаборатория цифровых двойников, где развёрнут реально действующий цифровой двойник газораспределительной системы всей страны. Двойник позволяет моделировать риски, готовить кадры на реальных программных комплексах и отрабатывать нештатные ситуации без риска для потребителей [3].

Цифровые двойники в энергетике Беларуси являются работающим инструментом повышения безопасности и эффективности. Отрасль перевыполняет плановые показатели цифровизации, а к 2030 году намечена полная оцифровка взаимодействия с потребителями [2].

Библиографический список

1. Осипов, А. Новые технологии повысят защиту БелАЭС / А. Осипов // Беларусь сегодня. — 2018. — 15 мая.
2. Белорусская АЭС : путеводитель / С. Кравцов [и др.]. – Минск, 2024. – 21 с.
3. Аношенко, К. Цифровизация энергетики: итоги 2025 года / К. Аношенко // Энергетика Беларуси. – 2025. – № 12. – С. 3–5.

*А.А. Исайченков, студ.; рук. М.С. Ковалева, асс.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМА ИДЕНТИФИКАЦИИ МОНЕТ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОПИЛКИ

Электронная копилка представляет собой устройство, предназначенное для автоматического приёма и подсчёта внесённых денежных средств. Ключевым элементом электронной копилки является механизм распознавания монет, от корректности работы которого зависит точность подсчёта денежных средств.

Распознавание может быть реализовано на основе измерения размера монеты во время ее движения через измерительную зону. Для регистрации прохождения монеты на каждой из таких траекторий предполагалось установить собственные отверстия необходимого под монету размера и отдельный оптический датчик [1]. Несмотря на относительную простоту реализации, данный подход обладает рядом существенных недостатков: громоздкая конструкция, система плохо масштабируется и требует механической перенастройки при изменении набора распознаваемых номиналов.

Анализ указанных ограничений привел к поиску более компактного и универсального решения: использованию единственного оптического датчика препятствия. В таком случае достаточно одного канала для перемещения монеты. Монета перемещается по узкому направляющему каналу или щели, обеспечивающему стабильную траекторию ее движения. При прохождении через измерительную область монета частично перекрывает окно датчика [2]. Поскольку монеты различных номиналов имеют разные диаметры, площадь перекрытия светового потока также оказывается различной. В результате величина сигнала, формируемого фоточувствительным элементом, зависит от размера монеты. Наиболее важным результатом эксперимента является то, что максимальные значения сигнала существенно различаются для монет разных номиналов. Это подтверждает, что площадь перекрытия светового потока напрямую связана с геометрическим размером монеты, прежде всего с ее диаметром. Полученные экспериментальные результаты позволяют сделать вывод о достаточной разрешающей способности измерительной системы для практического распознавания монет.

Библиографический список

1. Оптические датчики: виды и принцип работы [Электронный ресурс]. URL: <https://www.syl.ru/article/518261/2023> (дата обращения: 13.03.2026).
2. Щелевые оптические датчики положения для современной электронной техники [Электронный ресурс] URL: <https://www.cta.ru/articles/soel> (дата обращения: 13.03.2026)

*И. В. Волков, К.П. Яблоков, Д. А. Карпук, студ.; рук Н.Г. Демьянцева,
к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

СОЗДАНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ РОТОРА СТАТОРА ГЕНЕРАТОРА ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА В СРЕДЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ SIMINTECH

В работе выполнено моделирование системы водяного охлаждения турбогенератора в среде SimInTech. Актуальность обусловлена невозможностью натурных испытаний на действующей АЭС.

Объект исследования – замкнутый контур циркуляции дистиллята: два бака по 6 м³, насосы ETANORM С 100-250 С11, теплообменники Т20-MFS, фильтры механической, магнитно-механической и ионообменной очистки.

Цель – разработка модели системы охлаждения для обеспечения теплосъёма с обмоток статора и ротора.

Задачи: моделирование гидравлических и тепловых режимов; параметрический анализ влияния давления, напора и расхода на эффективность охлаждения.

Вычислительный эксперимент проведён в SimInTech с паспортными характеристиками оборудования.

Результаты. В штатном режиме дистиллят нагревается от 20 до 56°C в насосах, охлаждается до 39°C в теплообменниках и нагревается до 60°C на элементах генератора. В ходе параметрического анализа установлено: снижение давления в баке (от 100 до 10 кПа) увеличивает его наполнение; рост напора насоса (от 74 до 100 кПа) повышает давление на выходе узла (от 4 до 5 кПа); увеличение расхода охлаждающей жидкости (от 1 до 100 м³) незначительно снижает температуру дистиллята.

Выводы. Разработанная модель верифицировано описывает теплофизические процессы. Вычислительный эксперимент выявил количественные зависимости параметров системы. Результаты могут быть использованы для оптимизации режимов работы.

Библиографический список

1. Официальное руководство по использованию программного обеспечения SimInTech «ВВЕДЕНИЕ В РАБОТУ С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ «Среда динамического моделирования технических систем «SimInTech» Часть 1. Часть 2. Часть 3». 2017-2019. 210 с.

**И.В. Волков, К.П. Яблоков, Д.А. Карпук, студ. рук Н.Г. Демьянцева,
к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)**

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКЦИОМЕТРА НА ОСНОВЕ ТАЙМЕРА NE555

В работе выполнено проектирование и экспериментальное исследование портативного индукциометра на основе таймера NE555. Актуальность обусловлена высокой стоимостью промышленных RLC-метров и необходимостью оперативного контроля параметров катушек индуктивности при настройке фильтров, колебательных контуров и импульсных преобразователей.

Объект исследования – измерительный преобразователь «индуктивность–частота» на микросхеме NE555, включающий времязадающую LC-цепь, согласующий каскад на транзисторах BC547 и BC557, защитный диод 1N4148, а также два поддиапазона измерения: до 800 мкГн и более 800 мкГн.

Цель – разработка схемы индукциометра, обеспечивающей раздельное измерение малых и больших индуктивностей с погрешностью не более 10 % при питании 5 В. Задачи: анализ работы нестабильного мультивибратора в режиме LC-генерации; моделирование частотной характеристики в зависимости от номинала измеряемой катушки; экспериментальная проверка чувствительности и линейности преобразования для двух поддиапазонов.

Физический эксперимент проведён на макетной плате с использованием генератора сигналов и частотомера. Решались уравнения частоты колебаний:

$$f = \frac{1}{(0,693 \cdot (R_1 + 2R_2) \cdot C)} \quad \text{для RC-генератора, а в режиме LC – зависимость:}$$
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_x C_{\Sigma}}}$$

Результаты. В поддиапазоне «до 800 мкГн» с конденсатором 660 нФ частота генерации составила 6-12 кГц. В поддиапазоне «более 800 мкГн» (конденсаторы 1 нФ и 10 нФ) частота снизилась до 1-3 кГц, что расширило верхнюю границу измерения до 1,5 мГн. Увеличение индуктивности от 10 до 800 мкГн приводит к уменьшению частоты с 12 до 6 кГц.

Выводы. Разработанная схема индукциометра корректно преобразует индуктивность в частоту, пригодную для измерения цифровым частотомером или стрелочным индикатором. Устройство может быть рекомендовано для лабораторного практикума и радиолюбительской практики.

Содержание

<i>Секция 9. Атомные электрические станции</i>	3
<i>Секция 10. Теплообмен в промышленных установках</i>	26
<i>Секция 11. Безопасность жизнедеятельности в техносфере</i>	37
<i>Секция 12. Моделирование физических процессов</i>	45
<i>Содержание</i>	65

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ

Двадцать первая всероссийская
(тринадцатая международная)
научно-техническая конференция
студентов, аспирантов и молодых учёных
«ЭНЕРГИЯ-2026»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Печатается в авторской редакции

Составитель Вольман М.А.

Подписано в печать 01.09.2026. Формат 60х84 1/16.

Печать плоская. Усл. печ. л. 3,84

Электронное издание

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

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ

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