

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-2024»

ДЕВЯТНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ОДИННАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

г. Иваново, 14-16 мая 2024 года

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 2

ИВАНОВО

ИГЭУ

2024

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

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ // Девятнадцатая всероссийская (одиннадцатая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2024»: Материалы конференции. В 6 т. Т. 2. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2024. – 116 с.

ISBN 978-00062-628-3
ISBN 978-00062-625-2(Т.2)

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

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

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

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

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

Зам. председателя: начальник управления НИРС и ТМ **Макаров А.В.**

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 **Тихонов А.И.**

СЕКЦИЯ 9
АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

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

Секретарь –
к.т.н. **Вольман М.А.**

*Громов К.А., Смирнова А.А., Шманатов Н.А. студ.
рук. А.Г. Ильченко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПЕРСПЕКТИВЫ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В КОСМИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ

В космической энергетике можно выделить три направления использования ядерной энергии: ядерные двигательные установки; ядерные энергетические установки (для обеспечения энергией космических аппаратов и баз на других планетах); ядерные энергодвигательные установки.

В зависимости от типа преобразуемой энергии ракетные двигатели подразделяются на тепловые и электрические. Ядерные ракетные двигатели (ЯРД) относятся к тепловым. Они используют энергию деления или синтеза ядер для создания реактивной тяги. Принцип работы электрических ракетных двигателей основан на преобразовании электрической энергии в направленную кинетическую энергию частиц. Однако такому двигателю необходим внешний источник электроэнергии и тут на помощь может прийти ядерная энергетическая установка.

Ядерные энергетические установки (ЯЭУ) предназначены для преобразования тепловой энергии, выделяемой за счет деления урана, в электрическую или механическую энергию. Эти установки подразделяются в зависимости от способа преобразования энергии на установки с прямым и машинным способами ее преобразования. Установки с прямым способом преобразования в свою очередь подразделяются на радиоизотопные, термоэлектрические и термоэмиссионные установки. А ЯЭУ с машинным преобразованием энергии в зависимости от того, какой термодинамический цикл реализуется в этих системах, подразделяются на установки, работающие по циклам Брайтона, Ренкина и Стирлинга.

Электрические ракетные двигатели обладают большим удельным импульсом (крайне важный показатель для полёта на большие расстояния), но малой тягой. Поскольку увеличение тяги можно достичь мощным бортовым источником энергии, а именно ЯЭУ, то такая комбинация является достаточно многообещающей и представляет собой ядерные энергодвигательные установки.

Целью работы является сравнение различных ядерных энергетических установок как реальных, так и теоретических и поиск наиболее перспективных решений в космических программах на ближайшее будущее.

М.Е. Попов, П.В. Кириченко студ.;
рук. А.Г. Ильченко, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ДВУХПЕТЛЕВОЙ ЯДЕРНОЙ ПАРПРОИЗВОДЯЩЕЙ УСТАНОВКИ С РЕАКТОРОМ ВВЭР-ТОИ

Одним из перспективных проектов РУ с ВВЭР является применение двухпетлевой компоновки ЯППУ. Данное решение имеет следующие преимущества перед стандартной четырех петлевой компоновкой: сокращение удельной металлоемкости реакторной установки; сокращение сроков монтажа оборудования; сокращение капитальных затрат; уменьшение диаметра гермооболочки. Уменьшение диаметра гермооболочки в свою очередь способствует снижению капитальных затрат и сроков строительства.

В рамках данной работы разработаны схемы трех двухпетлевых компоновок: с парогенератором типовой конструкции повышенной мощности и два варианта с парогенератором имеющим горизонтальное расположение коллекторов теплоносителя – вариант А с расположением ГЦНА между парогенератором и внутренней ГО, вариант Б с расположением ГЦНА между ЯР и ПГ; проведено сравнение технико-экономических показателей новых компоновок (таблица 1), по результатам которого определена наиболее перспективная.

Таблица 1 – Анализ экономии относительно типовой компоновки

Характеристика	В-510К	Типовой ПГ 1656 МВт	Вариант А	Вариант Б
Общие годовые затраты на производство электроэнергии, млн. руб	74029	73445	73292	72497
Отпуск электрической энергии в год, МВт·ч	18714152	18713833	18716257	18715746
Себестоимость отпускаемой электрической энергии, руб/кВт·ч	3,956	3,925	3,916	3,874

Результаты, полученные в ходе выполнения настоящей работы, могут быть учтены при дальнейшем детальном проектировании двухпетлевых ЯППУ с реакторами ВВЭР, проектировании аналогичных двухпетлевых РУ

В качестве дальнейшего развития работы может быть произведено: уменьшение размеров герметичной оболочки с переработкой всего объема ГО, поиск оптимальных параметров ЯППУ (параметры генерируемого пара, температура и давление теплоносителя), разработка и анализ оборудования второго контура к предлагаемой компоновке.

Белышев А.А, студ.; рук. В.Ф. Степанов, ст. преп. (ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА ТЕСТОВОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТС АВАРИЙНОЙ ПОДПИТКИ ПГ ПТУ К-1000-60/3000

Тестирование знаний специалистов по различным технологическим системам (ТС) ядерного энергоблока – один из важнейших этапов подготовки персонала на АЭС. Тестирование знаний является одним из необходимых и эффективных способов обучения студентов.

ТС АППГ предназначена для расхолаживания реакторной установки (РУ) в режиме обесточивания ЭБ АЭС, обеспечения аварийного снятия остаточных тепловыделений при авариях и неисправностях ТС ПВ, а также для заполнения ПГ при нахождении РУ в состоянии «холодное», «останов для ремонта», «перегрузка ядерного топлива». При обесточивании блока ТС АППГ осуществляет подачу воды в ПГ в течение 6-7 часов для отвода остаточных тепловыделений на первом этапе аварийного расхолаживания.

ТС АППГ состоит из трех независимых каналов (ТХ10,20,30), каждый из которых в отдельности обеспечивает расхолаживание ЭБ АЭС. Каждый канал ТС АППГ включает в себя: 1. Бак запаса химобессоленной воды. Предназначен для хранения аварийного запаса химобессоленной воды. 2. Три аварийных питательных насоса (АПЭН); 3. Трубопроводы, служащие технологическими связями, и арматура, предназначенная для выполнения необходимых переключений; 4. КИП и средства автоматики и защиты.

К тестированию приняты режимы нормальной эксплуатации ТС АППГ: 1. Подготовка к пуску; 2. Пуск; 3. Работа на мощности; 4. Останов; 5. Вывод в ремонт.

Разработка тестовой программы производится в системе «Аттестат». Она позволяет: 1. Устанавливать для каждой категории обучаемых персональный объем знаний и состав изучаемых в соответствии с требованиями программ обучения и/или должностной инструкции; 2. Организовывать проведение групповых и индивидуальных занятий с указанием сроков и времени занятий, объема и последовательности изучаемого материала, режима подачи учебного материала, необходимости включения входного, промежуточного и выходного контроля знаний; 3. Обеспечить самостоятельную работу обучаемых лиц с учебным материалом; 4. Проводить различные виды проверки знаний; 5. Создавать новые КОС, а также вносить изменения в существующие базы знаний.

Библиографический список

1. Инструкции по эксплуатации энергоблока № 3 Калининской АЭС.
2. Альбом схем ТС энергоблока № 3 Калининской АЭС.

Белышев А.А., студ.; рук. В.Ф. Степанов, ст. преп. (ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА ТЕСТОВОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТС ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ ПВ ПТУ К-1000-60/3000

Тестирование знаний специалистов по различным технологическим системам (ТС) ядерного энергоблока – один из важнейших этапов подготовки персонала на АЭС. Тестирование знаний является одним из необходимых и эффективных способов обучения студентов.

ТС ВПВ предназначена для подачи питательной воды из деаэратора в парогенераторы (ПГ) при снижении давления питательной воды за ПВД до 60 кгс/см²; при снижении уровней в ПГ на 100 мм от номинальных, если температура теплоносителя первого контура более 150°С; при срабатывании защит на останов обоих турбопитательных насосов (ТПН); при отключении обоих ТПН или одного; для подпитки ПГ при пуско-останове ЭБ АЭС; для предварительной промывки питательного контура и разогрева деаэраторной установки. При пусках ЭБ АЭС ТС ВПВ предназначена для деаэрации питательной воды в деаэрационной установке; предварительного заполнения, прогрева трубопроводов второго контура и проведения гидроиспытаний на рабочих параметрах

В состав ТС ВПВ входят: 1. Два вспомогательных питательных электронасоса; 2. Трубопроводы, служащие технологическими связями, и арматура; 3. КИП и средств автоматики и защиты.

ТС ВПВ связана со всеми ТС ЭБ АЭС, входящими в состав ТС ПВ.

К тестированию приняты режимы нормальной эксплуатации ТС ВПВ: 1. Подготовка к пуску; 2. Пуск; 3. Работа на мощности; 4. Останов; 5. Вывод в ремонт.

Разработка тестовой программы производится в системе «Аттестат». Она позволяет: 1. Устанавливать для каждой категории обучаемых персональный объем знаний и состав изучаемых в соответствии с требованиями программы обучения и/или должностной инструкции; 2. Организовывать проведение групповых и индивидуальных занятий с указанием сроков и времени занятий, объема и последовательности изучаемого материала, режима подачи учебного материала, необходимости включения входного, промежуточного и выходного контроля знаний; 3. Обеспечить самостоятельную работу обучаемых лиц с учебным материалом; 4. Проводить различные виды проверки знаний; 5. Создавать новые КОС, а также вносить изменения в существующие базы знаний.

Библиографический список

1. Инструкции по эксплуатации энергоблока № 3 Калининской АЭС.
2. Альбом схем ТС энергоблока № 3 Калининской АЭС.

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

КРОССВЕРИФИКАЦИЯ ПАКЕТОВ COMSOL И ANSYS ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРИКЛАДНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ТВЭЛАХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

Кроссверификация - проверка, подтверждение, метод доказательств алгоритмов, программ путём их сопоставления.

Для большинства типов реакторов при расчете с использованием прецизионных программ принято считать, что погрешность определяется в основном погрешностью ядерных данных, однако в конструкторских бюро используются различные программы для моделирования твэлов, что также должно учитываться.

В базе данных Росатома в отличие от COMSOL ANSYS является официальным продуктом для выполнения тепловых расчетов. Поэтому для расчета в COMSOL требуется сопоставление с ANSYS.

Актуальность работы заключается в том, что сравнение пакетов COMSOL и ANSYS для моделирования тепловых процессов в твэлах позволит ответить на вопрос какой пакет моделирования лучше использовать для расчета задач.

Цель работы: сравнить пакеты COMSOL и ANSYS для решения задач определения температурного поля твэла в двухмерной постановке, а именно:

1. с учетом зависимости теплофизических свойств от температуры и без их учета;
2. с учетом отверстия; с учетом зависимости теплофизических свойств от температуры и без их учета;
3. с учетом отверстия; с учетом зависимости теплофизических свойств от температуры и без их учета; с учетом РТО внутри таблетки.

Библиографический список

1. **Горбунов В.А.** Моделирование теплогидравлических процессов в ядерных реакторах в comsol multiphysics
2. Преимущества и недостатки специализированных пакетов в образовательном процессе [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/preimuschestva-i-nedostatki-spesializirovannyh-paketov-v-obrazovatelnom-protseesse/viewer>

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

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ТОРИЯ В ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРАХ

В настоящей работе приведены результаты теоретического обоснования применения тория в качестве сырьевого материала и сравнение его с ураном и плутонием. Рассмотрены основные ядерные характеристики уран-ториевого и уран-плутониевого циклов: сечения радиационного захвата ^{232}Th и ^{238}U в тепловой области, исследовалась зависимость числа вторичных нейтронов $\nu_{\text{эфф}}$ для ^{233}U и других изотопов, были рассмотрены сечения деления σ_f и сечения радиационного захвата σ_c для различных изотопов, сделан вывод о наилучшей эффективности деления ^{233}U . Рассматривалась балансная формула для коэффициента воспроизводства без учёта выгорания топлива. Результаты приведены в таблице.

Таблица. Сравнение теоретически возможных коэффициентов воспроизводства для различных видов топлива

E, эВ	Среднее число быстрых нейтронов, испускаемых на один акт деления, $\nu_{\text{эфф}}$			1+ α			Коэффициент воспроизводства	
	^{233}U	^{235}U	^{239}Pu	^{233}U	^{235}U	^{239}Pu	^{233}U	^{239}Pu
0,026	2,54	2,46	2,88	1,13	1,184	1,42	1,25	1,03
10^3	—	2,46	2,88	—	1,48	1,65	—	0,75
10^5	—	2,47	2,90	1,08	1,13	1,18	1,34	1,46
$5 \cdot 10^5$	—	2,50	2,95	—	1,10	1,10	—	1,68

Рассмотрены преимущества ториевого цикла и его недостатки. Проанализированы данные по образованию трансурановых элементов в уран-ториевом и уран-плутониевом циклах. Показано, что в ториевом цикле возникает гораздо меньше плутония и долгоживущих актинидов (Np, Am, Cm). В результате рассмотрения вопроса о сжигании плутония был сделан вывод о более продуктивном сжигании плутония в ториевом цикле. Была рассмотрена динамика цен на уран и сделан вывод, исходя из отчётов МАГАТЭ: торий не интересен, пока стоимость килограмма урана не превысит 300\$.

Библиографический список

1. 2005 IAEA THORIUM FUEL CYCLE — POTENTIAL BENEFITS AND CHALLENGES. — VIENNA, 2005
2. Бекман И.Н. Торий. Курс лекций. — М.: Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Химический факультет, Кафедра радиохимии, 2010. — 136 с.
3. Мурогов В.М., Троянов М.Ф., Шмелев А.Н. Использование тория в ядерных реакторах. — М.: Энергоатомиздат, 1983.— 81с.

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

АНАЛИЗ ПУТЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК ПЕРСОНАЛА АЭС

На данный момент в науке стоит вопрос снижения получаемых доз облучения персоналом и населением от источников ионизирующего излучения. Как известно для всех групп работников, работающих с источниками ионизирующего излучения, и населения устанавливаются допустимые уровни облучения, которые исключают риск возникновения детерминированных эффектов, которые возникают при облучении свыше определенного предела. Но в то же время есть отдаленные стохастические эффекты – вредные биологические эффекты, вызванные ионизирующим излучением; которые не имеют конкретного порога и риск возникновения которых пропорционален дозе. Таким образом, облучение вызывает повышение вероятности возникновения различных раковых и наследуемых заболеваний. Исходя из этого, возникает проблема снижения получаемых доз облучения, для минимизации риска возникновения этих эффектов.

Особое внимание стоит уделить работникам АЭС, на которых персонал получают основную часть своей годовой дозы в период ремонта на энергоблоках. В процессе выполнения различных работ, в том числе ремонтных, персонал может подвергаться сильному ионизирующему излучению. 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.

По опыту эксплуатации можно сказать, что любые СИЗ затрудняют выполнение работ, а применение таких тяжелых СИЗ как фартуки из свинцовых материалов и подавно. Поэтому стоит вопрос поиска более легких материалов, способных обеспечивать радиационную защиту не хуже, чем материалы на основе свинца.

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.

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

ПОИСК НОВЫХ БЕССВИНЦОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА АЭС

В настоящее время предъявляются серьезные требования к обеспечению радиационной безопасности. Особое внимание уделяется работникам АЭС, так как там остро стоит вопрос обеспечения радиационной безопасности при проведении различных работ.

В процессе проведения радиационно-опасных работ работникам необходимо применять дополнительные средства индивидуальной защиты (СИЗ), которые в различной степени затрудняют выполнение работ. Одними из дополнительных СИЗ, предназначенными для снижения мощности дозы излучения являются свинцовые фартуки и жилеты. Такие СИЗ обеспечивают защиту от излучения, но являются довольно тяжелыми, что не в малой степени затрудняет выполнение работ, особенно в совокупности с другими дополнительными СИЗ.

Также для экранирования от ИИ, помимо дополнительных СИЗ из свинца и/или вольфрама, применяются свинцовые маты, которые размещаются в качестве защитных экранов. Из опыта эксплуатации можно сказать, что в ГО они размещаются не на постоянной основе, а, следовательно, имеется необходимость размещать и убирать в начале и конце каждой ремонтной кампании, что приводит к дополнительному облучению персонала.

Стоит отметить, что хоть свинец недорогой, прост в обработке, однако его токсичность может нанести большой вред организму человека и окружающей среде. В связи с этим существует потребность в разработке альтернативных материалов, которые являются более экологически чистыми, при этом их можно использовать в качестве экранирующего материала.

Таким образом, можно сделать вывод, что в данный момент в науке стоит вопрос поиска новых материалов для обеспечения радиационной защиты, превосходящих материалы на основе свинца и не уступающих таковым по радиационно-защитным свойствам.

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

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОЕКТЫ ПОДКРИТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ НА УСКОРИТЕЛЯХ (ACCELERATED DRIVEN SYSTEMS)

В настоящее время в мире существует три наиболее развитых проекта по созданию подкритических реакторов, управляемых ускорителем:

1. MYRRHA (Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications) — это гибкая экспериментальная система ADS (Accelerator Driven System), которая в настоящее время разрабатывается в Бельгии.

MYRRHA основана на эвтектике свинец–висмут, поэтому данная установка сможет внести значительный вклад в развитие технологии свинцовых реакторов на быстрых нейтронах (LFR) [1].

2. CLEAR-I (China LEAd-based Reactor). Китайский подкритический реактор CLEAR-I представляет собой конструкцию ядерного реактора, состоящую из активной подкритической зоны ядерного реактора и высокоэнергетического ускорителя протонов.

CLEAR был выбран в качестве эталонного реактора для разработки ADS в Китае и развития технологии быстрого реактора со свинцовым охлаждением IV (четвёртого) поколения [2].

3. ЯПУ (Ядерная подкритическая установка) «Источник нейтронов». Разработка эскизного проекта, а также научное руководство созданием установки выполнялись совместно специалистами из Украины, США, Китая и России.

«Источник нейтронов» предназначен для исследования подкритических систем, получения нейтронов и использования их в прикладных и фундаментальных научных исследованиях, а также для подготовки специалистов в области использования ядерной энергии [3].

Библиографический список

1. Hamid Ait Abderrahim, Peter Baeten, Didier De Bruyn, Rafael Fernandez MYRRHA – A multi-purpose fast spectrum research reactor // Energy Conversion and Management. - 2012. - №63. - С. 4-10..
2. Yican Wu Design and R&D Progress of China Lead-Based Reactor for ADS Research Facility // Engineering. - March 2016. - №2. - С. 124-131.
3. СОЗДАНИЕ ЯДЕРНОЙ ПОДКРИТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ, УПРАВЛЯЕМОЙ ИСТОЧНИКОМ ЭЛЕКТРОНОВ // Ивашенко А.А., Комаров С.В., Лещенко А.Ю., Зелинский А.Ю., Карнаухов И.М., Мыщыков А.О., Ушаков И.В., Шульга Н.Ф. URL: https://sosny.ru/files/publications/MNTK2018_Ivaschenko_paper.pdf.

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

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОДКРИТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ НА УСКОРИТЕЛЯХ (ACCELERATED DRIVEN SYSTEMS) В РОССИИ И В МИРЕ

Еще в СССР считалось, что одним из самых перспективных направлений развития ядерной энергетики в нашей стране является принудительное деление урана-238 и тория-232. В таких реакторах нейтроны берутся не в результате цепной реакции, а со стороны, из мощного и компактного ускорителя, пристроенного к реактору.

Более принципиальным для России является переход именно к урану-238, так как он обладает уникальным свойством: через реакцию радиационного захвата (n, γ) и два β распада образуется плутоний-239, который по своим делительным возможностям превосходит уран-238.

С учетом имеющихся данных, в России добыто не менее нескольких сотен тысяч тонн природного урана. Его не так много, если рассчитывать на горение урана-235 (несколько десятков лет для АЭС общей мощностью 100 ГВт), и очень много (на тысячи лет), если вовлечь в горение уран-238. В подкритических системах полностью решается сырьевая проблема на тысячелетия вперед, даже при полном закрытии урановых рудников, обогатительных фабрик, с сопровождающими их экологическими осложнениями [1].

Также, во всем мире остро стоит проблема утилизации отработанного ядерного топлива, включающего в себя плутоний, долгоживущие продукты деления и высокоактивные отходы – минорные актиноиды, такие как: нептуний (Np), америций (Am) и кюрий (Cm).

Переработка отработанного топлива (замкнутый топливный цикл) в подкритических реакторах на ускорителях с последующим геологическим захоронением является сегодня одним из предполагаемых решений проблемы утилизации отработанного ядерного топлива [2].

Библиографический список

1. Феоктистов Л.П. Из прошлого в будущее: От надежд на бомбу к надежному реактору. (Воспоминания, избранные статьи). - Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 1998. - 326 с.
2. Contribution of the European Commission to a European Strategy for HLW Management Through Partitioning & Transmutation // Elibrary.net URL: https://ebrary.net/26797/environment/development_technologies_current_status_accelerator-driven_system_development.

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

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПОДКРИТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ НА УСКОРИТЕЛЯХ (ACCELERATED DRIVEN SYSTEMS)

Одной из основных проблем создания и эксплуатации подкритических реакторов на ускорителях является использование потенциально опасных элементов в качестве топлива.

Работа реактора с использованием топлива на основе редкоземельных элементов и минорных актинидов может быть опасна. Эти элементы обладают свойством самопроизвольного деления и испускания нейтронов, а также низкой летучестью при определенных температурах. Все это создает новые сложности по сравнению с нынешней практикой эксплуатации реакторов на обогащенном урановом топливе.

Важным фактором, замедляющим исследования подкритических реакторов на ускорителях, являются экономические затраты на производство. Несмотря на то, что ADS реакторы могут предложить более высокую эффективность использования топлива, они также требуют больше инвестиций и обслуживания по сравнению с традиционными реакторами. Поэтому важно определить, как быстро они окупятся и какую экономическую выгоду принесут.

Стратегия проектирования ADS в области безопасности в последние годы также вышла за рамки традиционных мер: система, состоящая из источника тепла реактора, соединенного с источником нейтронов, несет с собой следующие проблемы безопасности: высокое напряжение, контроль рабочей дозы из-за компонентов, активируемых при расхождении луча, и т.д. [1].

И, наконец, ADS-реакторы требуют значительных инвестиций и ресурсов, и многие страны заинтересованы в сотрудничестве по этим вопросам. Однако, международные разногласия могут затруднить сотрудничество и обмен технологиями [2].

Библиографический список

1. Accelerator-driven Systems (ADS) and Fast Reactors (FR) in Advanced Nuclear Fuel Cycles // Nuclear Development URL: <https://www.oecd-nea.org/ndd/reports/2002/nea3109-ads.pdf>.
2. Overview of ADS projects in the world // LINAC2022 URL: https://accelconf.web.cern.ch/linac2022/talks/tu2aa01_talk.pdf.

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

ФИЗИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПОДКРИТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ НА УСКОРИТЕЛЯХ (ACCELERATED DRIVEN SYSTEMS)

Обычные энергетические реакторы не требуют внешних источников нейтронов для нормального функционирования. Система, управляемая ускорителем (ADS, Accelerated Driven System), представляет собой подкритический реактор, приводимый в работу внешним источником – мишенью из нейтронов расщепления, приводимой в движение с помощью мощного ускорителя протонов.

Безопасность и управляемость – главные преимущества работы с ADS. Среди преимуществ подкритической эксплуатации – стабильный характер работы, увеличенный запас для ускорения критичности и снижение влияния обратной связи по реактивности [1].

ADS может работать только при подаче на него нейтронов, поскольку в качестве топлива он использует материалы, которые не имеют достаточно высокого шанса деления благодаря захвату нейтронов для поддержания цепной реакции деления. Таким образом, ADS можно отключить, просто остановив протонный пучок. Поскольку они останавливаются при отключении входного тока, ADS считаются более безопасными, чем критические реакторы. [2].

К технико-экономическим особенностям этих систем можно отнести: необходимость в дополнительной установке ускорителя частиц, повышенную эксплуатационную безопасность за счет работы в подкритическом режиме, а также возможность использования в качестве топлива плутоний, торий и минорные актиниды [3].

Библиографический список

1. Marcus Eriksson Accelerator-driven Systems: Safety and Kinetics: Doctoral Thesis Department of Nuclear and Reactor Physics: Royal Institute of Technology. - Stockholm, 2005. - 73 с.
2. С. В. Керсновский, В. И. Костенков, В. М. Новиков и др. Электроядерные установки для пережигания актинидов на основе расплавов солей. - Москва: РНЦ КИ, 1996. - 55 с.
3. Accelerator-driven Nuclear Energy // World Nuclear Assotiation URL: <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/accelerator-driven-nuclear-energy.aspx>.

*Д.Д. Курицин, Д.С. Николаев, студ.; рук. М.А. Легчанов, к.т.н., доц.
(НГТУ им Р.Е. Алексева)*

РАЗРАБОТКА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКИ С ПОГЛОЩАЮЩИМ СТЕРЖНЕМ СУЗ РЕАКТОРА ВТГР

На данный момент разрабатывается проект атомной станции теплоснабжения (АЭС) с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором (ВТГР). На этапе проектирования новой реакторной установки ключевой задачей является создание активной зоны, обеспечивающей высокие технико-экономические показатели, в сочетании с необходимым уровнем безопасности. В тоже время, не существует точных экспериментальных данных по распределению локальных скоростей и расходов теплоносителя в каналах охлаждения, а также в поглощающем стержне (ПС) системы управления и защиты (СУЗ), топливной сборки ВТГР. Для решения этой проблемы была проведена работа по обоснованию параметров экспериментального стенда для исследования гидравлических характеристик каналов охлаждения тепловыделяющей сборки (ТВС) и канала ПС СУЗ.

Анализ критериев подобия, описывающих особенности гидравлики конструкции ТВС ВТГР, показал, что основное воздействие на изучаемый процесс оказывают числа Рейнольдса и Маха. Для дальнейшей оценки параметров стенда было проведено численное и экспериментальное моделирование на упрощенной модели ТВС с ПС СУЗ. В процессе исследований были сформулированы требования к экспериментальному стенду. Оптимальный масштаб экспериментальных моделей был определен как 1:1. Характеристики оборудования исследовательского стенда позволяют создавать перепад давления на экспериментальной модели до 14000 Па, при этом общий расход воздуха через экспериментальную модель составляет 1 м³/с. Данный расход воздуха обеспечивает соответствие штатным критериям подобия, что подтверждает соблюдение условий гидродинамического подобия между стандартной конструкцией ТВС и экспериментальной моделью. Работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (тема № FSWE-2024-0003)

Библиографический список

1. Митенков Ф.М., Кодочигов Н.Г., Васяев А.В., Головки В.Ф. Высокотемпературный газоохлаждаемый реактор — энергоисточник для промышленного производства водорода // Атомная энергия. - 2004. - Т. 97. - № 6. -С. 432-446.

*Ляпин Д.С., студ.; рук. В.Ф. Степанов (ст. преподаватель)
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ТЕСТОВОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТС ОХЛАЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000

Тестирование знаний специалистов по различным технологическим системам ядерного энергоблока – один из важнейших этапов подготовки персонала на АЭС. Тестирование знаний является одним из необходимых и эффективных способов обучения студентов.

ТС ОГЦ предназначена для охлаждения водорода, циркулирующего в корпусе ЭГ, дистиллята в системе охлаждения обмотки статора ЭГ, а также для отвода тепла от воздухоохлаждателей возбuditеля и выпрямителя. В генераторе ТВВ-1000-2 принята система водородно-водяного охлаждения. Обмотка статора генератора охлаждается дистиллятом. Ротор и активная сталь статора охлаждается водородом. Нагретый водород охлаждается в газоохлаждателях водой.

Состав ТС ОГЦ: 1. Два насоса контура охлаждения газоохлаждателей. 2. Четыре газоохлаждателя электрогенератора, встроенные в его корпус; 3. Два теплообменника ОГЦ; 4. Двенадцать воздухоохлаждателей возбuditеля и выпрямителя; 5. Два теплообменника охлаждения обмоток статора генератора; 6. Две газовые ловушки; 7. Компенсационный бак; 8. Трубопроводы и арматура; 9. КИП и средства автоматики и защиты.

К тестированию приняты режимы нормальной эксплуатации ТС ОГЦ: 1. Подготовка к пуску; 2. Пуск; 3. Работа на мощности; 4. Останов; 5. Вывод в ремонт.

Разработка тестовой программы производится в системе «Аттестат». Она позволяет: 1. Устанавливать для каждой категории обучаемых персональный объем знаний и состав изучаемых в соответствии с требованиями программы обучения и/или должностной инструкции; 2. Организовывать проведение групповых и индивидуальных занятий с указанием сроков и времени занятий, объема и последовательности изучаемого материала, режима подачи учебного материала, необходимости включения входного, промежуточного и выходного контроля знаний; 3. Обеспечить самостоятельную работу обучаемых лиц с учебным материалом; 4. Проводить различные виды проверки знаний; 5. Создавать новые КОС, а также вносить изменения в существующие базы знаний.

Библиографический список

1. Инструкции по эксплуатации энергоблока № 3 Калининской АЭС.
2. Альбом схем ТС энергоблока № 3 Калининской АЭС.

*Ляпин Д.С., студ.; рук. В.Ф. Степанов (ст. преподаватель)
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ТЕСТОВОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТС ОХЛАЖДЕНИЯ ОБМОТКИ СТАТОРА ГЕНЕРАТОРА ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000

Тестирование знаний специалистов по различным технологическим системам ядерного энергоблока – один из важнейших этапов подготовки персонала на АЭС. Тестирование знаний является одним из необходимых и эффективных способов обучения студентов.

ТС ООСГ предназначена для непосредственного охлаждения обмотки статора генератора дистиллятом, циркулирующим по замкнутому контуру и должна обеспечивать: 1. Поддержание заданного температурного режима обмотки статора генератора; 2. Необходимое качество дистиллята, циркулирующего в системе; 3. Поддержание заданного температурного режима нажимных колец генератора. Охлаждение обмотки статора генератора осуществляется путем подачи дистиллята по замкнутому контуру: насос - теплообменники - фильтры - напорный коллектор - обмотка статора - сливной коллектор - бак дистиллята - насос.

ТС ООСГ связана со следующими ТС ЭБ АЭС: 1. Основного конденсата; 2. Химочищенной обессоленной воды; 3. Технического водоснабжения; 4. Циркуводоснабжения.

К тестированию приняты режимы нормальной эксплуатации ТС ООСГ: 1. Подготовка к пуску; 2. Пуск; 3. Работа на мощности; 4. Останов; 5. Вывод в ремонт.

Разработка тестовой программы производится в системе «Аттестат». Она позволяет: 1. Устанавливать для каждой категории обучаемых персональный объем знаний и состав изучаемых в соответствии с требованиями программы обучения и/или должностной инструкции; 2. Организовывать проведение групповых и индивидуальных занятий с указанием сроков и времени занятий, объема и последовательности изучаемого материала, режима подачи учебного материала, необходимости включения входного, промежуточного и выходного контроля знаний; 3. Обеспечить самостоятельную работу обучаемых лиц с учебным материалом; 4. Проводить различные виды проверки знаний; 5. Создавать новые КОС, а также вносить изменения в существующие базы знаний.

Библиографический список

1. Инструкции по эксплуатации энергоблока № 3 Калининской АЭС.
2. Альбом схем ТС энергоблока № 3 Калининской АЭС.

*Ляпин Д.С., студ.; рук. В.Ф. Степанов (ст. преподаватель)
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ТЕСТОВОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТС ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ НА СПЕЦКОРПУС И ХИМВОДООЧИСТКУ ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000

Тестирование знаний специалистов по различным технологическим системам ядерного энергоблока – один из важнейших этапов подготовки персонала на АЭС. Тестирование знаний является одним из необходимых и эффективных способов обучения студентов.

ТС ТВ на СпК и ХВО предназначена для надежного и бесперебойного снабжения водой потребителей энергоблока АЭС.

В состав ТС технической воды на спецкорпус и химводоочистку входят: 1. Два насоса VB30, предназначенные для подачи технической воды к потребителям спецкорпуса, цеха химводоочистки, хранилища твёрдых радиоактивных отходов, центральной мастерской, а также для подпитки ответственных потребителей реакторного отделения; 2. Трубопроводы, служащие технологическими связями, и арматура, предназначенная для выполнения необходимых переключений; 3. КИП и средства автоматики и защиты, предназначенные для контроля работы системы и автоматизации технологического процесса.

К тестированию приняты режимы нормальной эксплуатации ТС ТВ на СпК и ХВО: 1. Подготовка к пуску; 2. Пуск; 3. Работа на мощности; 4. Останов; 5. Вывод в ремонт.

Разработка тестовой программы производится в системе «Аттестат». Она позволяет: 1. Устанавливать для каждой категории обучаемых персональный объем знаний и состав изучаемых в соответствии с требованиями программы обучения и/или должностной инструкции; 2. Организовывать проведение групповых и индивидуальных занятий с указанием сроков и времени занятий, объема и последовательности изучаемого материала, режима подачи учебного материала, необходимости включения входного, промежуточного и выходного контроля знаний; 3. Обеспечить самостоятельную работу обучаемых лиц с учебным материалом; 4. Проводить различные виды проверки знаний; 5. Создавать новые КОС, а также вносить изменения в существующие базы знаний.

Библиографический список

1. Инструкции по эксплуатации энергоблока № 3 Калининской АЭС.
2. Альбом схем ТС энергоблока № 3 Калининской АЭС.

*Ляпин Д.С., студ.; рук. В.Ф. Степанов (ст. преподаватель)
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ТЕСТОВОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТС ХИМОЧИЩЕННОЙ ОБЕССОЛЕННОЙ ВОДЫ ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000

Тестирование знаний специалистов по различным технологическим системам ядерного энергоблока – один из важнейших этапов подготовки персонала на АЭС. Тестирование знаний является одним из необходимых и эффективных способов обучения студентов.

ТС ХОВ предназначена для бесперебойного обеспечения ХОВ потребителей второго контура ЭБ АЭС. ХОВ может подаваться в конденсаторы основной паровой турбины, в деаэрационную установку, на заполнение конденсаторов приводных турбин турбопитательных насосов (ТПН), на уплотнения ТПН, на промывку и заполнение фильтров смешанного действия, на заполнение и подпитку замкнутых систем охлаждения генератора, на заполнение бака отмывочных вод, на подпитку гидрозатворов конденсаторопроводов подогревателей сетевой воды, на уплотнения насосов машзала, на заполнение баков аварийного запаса ХОВ.

Состав ТС ХОВ: 1. Два насоса аварийного добавка ХОВ; 2. Трубопроводы, служащие технологическими связями, и арматура, предназначенная для выполнения необходимых переключений; 3. КИП и средства автоматики и защиты.

К тестированию приняты режимы нормальной эксплуатации ТС ХОВ: 1. Подготовка к пуску; 2. Пуск; 3. Работа на мощности; 4. Останов; 5. Вывод в ремонт.

Разработка тестовой программы производится в системе «Аттестат». Она позволяет: 1. Устанавливать для каждой категории обучаемых персональный объем знаний и состав изучаемых в соответствии с требованиями программы обучения и/или должностной инструкции; 2. Организовывать проведение групповых и индивидуальных занятий с указанием сроков и времени занятий, объема и последовательности изучаемого материала, режима подачи учебного материала, необходимости включения входного, промежуточного и выходного контроля знаний; 3. Обеспечить самостоятельную работу обучаемых лиц с учебным материалом; 4. Проводить различные виды проверки знаний; 5. Создавать новые КОС, а также вносить изменения в существующие базы знаний.

Библиографический список

1. Инструкции по эксплуатации энергоблока № 3 Калининской АЭС.
2. Альбом схем ТС энергоблока № 3 Калининской АЭС

*П.А. Минеев, асп.; рук. В.А. Горбунов, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ В ПАРОВЫХ ТУРБИНАХ АЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ CFD

В современной России в эксплуатации находится 22 энергетических блока АЭС с реакторами типа ВВЭР, а к 2035 году планируется ввести еще 16 подобных энергоблоков [1].

В блоках с реакторами типа ВВЭР устанавливаются влажнопаровые турбины – турбины со степенью сухости пара на входе в часть высокого давления около 95-98%. В таких турбинах по мере течения теплоносителя в проточной части увеличивается влажность пара (до ~13-15%). Это означает, что количество капель жидкости в общем потоке влажного пара становится больше.

Вследствие больших скоростей, развиваемых потоком пара, а также сложной геометрии проточной части, спрогнозировать форму и размер капель с использованием базовых численных и инженерных методик не представляется возможным. Однако современные программные комплексы позволяют это осуществить.

Для определения влияния влажности на эффективность паровой турбины в настоящее время широко используют следующую приближенную формулу для оценки величины потерь от влажности:

$$\xi_{\text{вл}} = a (y_0 + y_2) / 2,$$

где a – эмпирический коэффициент, y_0 , y_2 – влажность на входе и выходе из турбинной ступени. В среднем увеличение влажности на 1% эквивалентно снижению внутреннего относительного КПД на 1%.

На сегодняшний день оценка потерь от влажности осуществляется исключительно с использованием эмпирических данных. Планируется произвести подобную оценку с использованием численных методов моделирования с помощью средств CFD, в частности с использованием уже разработанной модели турбины ГУБТ-25 в Ansys CFX [2].

Библиографический список

1. «Росатом» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosatom.ru/> (дата обращения: 10.04.2024 г.).
2. Нагорная, О.Ю. Разработка модели утилизационной газовой турбины / Нагорная О.Ю., Горбунов В.А., Павлов А.А., Минеев П.А. // Вестник «ИГЭУ». – Иваново, 2023. – Вып. 3. – С. 5-12.

*М.М. Мордик, студ.; А.А. Воробьев, студ.; Д.А. Задоров, студ.
(НИЯУ «МИФИ», г. Москва)*

РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В КОНТЕКСТЕ ЗЯТЦ

Ограниченность топливно-энергетических ресурсов (далее - ТЭР) – одна из основных проблем развития энергетики. Современная ядерная энергетика (далее- ЯЭ) базируется на использовании урана-235 (далее - U-235) в качестве делящегося изотопа. Содержание запасов U-235 в природном уране составляет порядка 0.712%, оставшаяся доля приходится на уран-238. Общие запасы урана России в недрах составляют 650 тыс. т [1]. Низкая концентрация U-235 ведет к необходимости рассматривать различные сценарии развития ЯЭ.

Цель работы – исследование перспективы перехода от эксплуатации тепловых реакторов к реакторам на быстрых нейтронах на плутониевом топливе в замкнутом ядерном топливном цикле.

Объект исследования - объекты ядерной энергетики.

На рисунке 1, представлены кривые изменения располагаемой мощности при различных коэффициентах воспроизводства топлива (далее – КВ) в зависимости от времени. Были рассмотрены два сценария развития: при КВ 1.05 и 1.2, мощность в 2113 г. составит соответственно 90 ГВт и 150 ГВт. Исходные данные исключают возможность использования накопленного плутония в ОЯТ, а стартовая критическая нагрузка плутония составляет 7 т. С длительностью топливной компании в 5 лет.

Полученные зависимости говорят о том, что при заданных значениях КВ и запасах плутония, возможно устойчивое развитие ядерной энергетики, при условии, что переход от традиционного сжигания U-235 будет совершен в ближайшие 10 - 15 лет.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод, что при КВ=1.2 плутониевое топливо в долгосрочной перспективе является наиболее стабильным ТЭР.

Библиографический список

1. Машковцев Г.А. Уран Российских недр - М: ВИМС, 2010. 850 с.

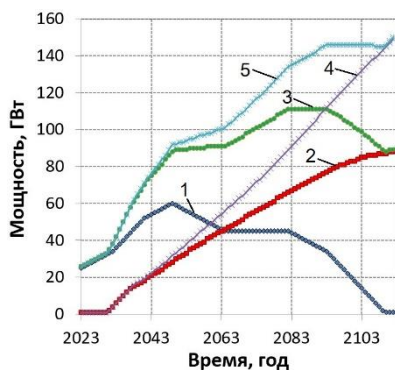


Рис. 1 - Изменение мощности ЯЭ
(1 – Мощность ВВЭР; 2 – Мощность БР (КВ=1,05); 3 – Суммарная мощность (КВ=1,05); 4 – Мощность БР (КВ=1,2); 5 – Суммарная мощность (КВ=1,2))

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

СРАВНЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ БАСЕЙНА ВЫДЕРЖКИ ДЛЯ БЛОКОВ С РЕАКТОРАМИ ВВЭР-1200 И ВВЭР-1000

Система охлаждения топливного бассейна предназначена для отвода остаточных тепловыделений от отработавших кассет, находящихся в топливном бассейне; контроля и поддержания радиационно-защитного слоя воды над топливными сборками.

В результате полной потери электроснабжения собственно станции произойдёт прекращение охлаждения бассейна выдержки отработанного топлива. Произведём расчёт времени начала оголения тепловыделяющих сборок после полного прекращения подачи воды на охлаждение.

В расчёте охлаждения кассет, размещённых в БВ, для расчётных вариантов 1-4 принимаются следующие сценарии развития событий:

- при исходном уровне воды в облицовке днища топливного бассейна образуется течь, уровень воды в БВ будет снижаться из – за течи.
- при снижении уровня воды до отметки верхней образующей врезки в БВ трубопровода отбора воды в систему охлаждения БВ происходит прекращения подачи охлаждающей воды в БВ и отвода тепла от ТВС.
- вода в БВ по всему объёму прогревается до температуры насыщения
- после достижения водой в БВ температуры насыщения уменьшения уровня воды в БВ происходит как за счёт течи, так и за счёт выкипания воды.

Таблица 1. Результаты расчётов. Суммарное время до оголения ТВС, ч

Номер варианта	1	2	3	4
ВВЭР-1200	18,1	19,2	5,2	6,3
ВВЭР-1000	12,5	13,1	3,7	4,3

Анализируя полученные результаты расчёта, можно сделать вывод о том, что авария с полным обесточиванием станции является менее опасной для блока с реактором ВВЭР-1200. При исходном событии время, которое имеется у оперативного персонала до начала оголения топлива больше.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ВХОДЕ В ТВС РЕАКТОРА ТИПА РИТМ АТОМНОЙ СТАНЦИИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Одной из приоритетных задач Российской Федерации, направленной на освоение ресурсов Арктики, является развитие атомных станций малой мощности (АСММ). На данный момент ведутся конструкторские работы по созданию АСММ с новейшей реакторной установкой (РУ) РИТМ-200С, разработанной в АО «ОКБМ Африкантов». Проектом РУ предусматривается кассетная активная зона с топливом повышенной ураноёмкости, что увеличивает энергоэффективность станции. Конструктивные особенности ТВС кассетной активной зоны обусловили необходимость экспериментального определения влияния отдельных элементов её входного участка, а именно дроссельной шайбы, на структуру поля аксиальной скорости потока на входе в активную часть твэльного пучка.

В лаборатории «Реакторная гидродинамика» НГТУ им. Р.Е. Алексеева проведена серия экспериментов на масштабной экспериментальной модели, включающей элементы конструкции входного участка от дроссельной шайбы до узла крепления твэлов к диффузору, а также фрагмент твэльного пучка между поглощающей решеткой и дистанционирующей решеткой. Исследования с использованием пневмометрического метода и метода инъекции контрастной примеси в нескольких сечениях по длине модели. Измерения проводились по всему поперечному сечению модели.

Результаты экспериментального моделирования использованы в гидравлическом профилировании элементов конструкции входного участка ТВС, а также при обосновании теплотехнической надежности новых кассетных активных зон. Полученная база опытных данных может использоваться для валидации отечественной CFD-программы ЛОГОС, а также уточнения методик теплогидравлического расчета активных зон в поперечном приближении.

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

Библиографический список

1. Активные зоны действующих атомных ледоколов / Д.Л. Зверев [и др.] // Судостроение. – 2020. – №1. – С.13-16.

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

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ВВЭР-ТОИ

Обеспечение радиационной безопасности организуется и осуществляется в целях предотвращения недопустимого воздействия источников ионизирующего излучения на персонал, население и окружающую среду в районе размещения АЭС.

ВВЭР-ТОИ – это типовой проект двухблочной, оптимизированной по технико-экономическим показателям АЭС поколения III+. Изменения в проекте касаются улучшения эксплуатационных свойств и повышения безопасности.

В проекте «ВВЭР-ТОИ» реализованы следующие принципы современной концепции многократной глубоко эшелонированной защиты:

- создание ряда последовательных барьеров на пути выхода в окружающую среду накопленных при эксплуатации радиоактивных продуктов, усовершенствованы корпус реактора, компенсаторы давления, главные циркуляционные насосы, коллекторы парогенераторов, трубопроводы первого контура и соединенных с ним систем,

- высокий уровень надежности за счет реализации специальных требований к обеспечению и контролю качества при конструировании, изготовлении и монтаже, поддержание достигнутого уровня при эксплуатации за счёт проведения контроля и диагностики

- создание защитных и локализирующих систем, предназначенных для предотвращения повреждений физических барьеров, ограничения или снижения размеров радиационных последствий;

- последовательное применение пассивных принципов в проектировании систем безопасности (в частности, использование пассивных систем расхолаживания реакторной установки).

Схемные решения, конструкция оборудования, систем и сооружений энергоблока ВВЭР-ТОИ обеспечивают возможность его модернизации, позволяющей:

- повышать годовую энерговыработку (за счет повышения КИУМ, сокращения времени плановых и неплановых простоев);
 - уменьшать энергопотребление собственных нужд;
 - снижать потери электрической и тепловой энергии;
- поддерживать должный уровень безопасности, получение разрешений на эксплуатацию в период проектного срока службы АЭС.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗМЕЕВИКОВ МАЛОГО РАДИУСА ГИБА

В настоящее время теплообменное оборудование находит широкое применение в различных направлениях науки и промышленности. Одним из наиболее перспективных вариантов компоновок трубных систем является компоновка теплообменных элементов в виде змеевиков малого радиуса ггиба. Данный вид компоновки характеризуется широкими возможностями для секционирования, самодистанцирования, а также не ограничен в габаритах трубной системы.

Ввиду малого количества экспериментально подтвержденных расчетных характеристик компоновки теплообменного оборудования в виде змеевиков малого радиуса ггиба, возникает необходимость в проведении испытаний. Настоящая работа посвящена исследованию гидравлических характеристик теплообменных элементов малого радиуса ггиба с различным шагом навивки, что является важным аспектом в определении требований к напорному оборудованию.

Серия экспериментальных работ проводилась на базе лаборатории кафедры «Ядерные реакторы и энергетические установки» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, где находится стенд для гидравлических испытаний. Установка представляет собой замкнутую трассу циркуляции, состоящую из насоса, опытного участка, запорной и регулирующей арматуры. Для измерения использовались расходомерное устройство и дифференциальный манометр. Опытный участок был сконструирован в виде съемного канала, внутри которого помещается опытный образец, представляющий собой змеевик малого радиуса ггиба с вытеснителем.

На основании проведенных испытаний были получены и обработаны экспериментальные данные, позволяющие количественно оценить зависимость коэффициента гидравлического сопротивления [1] от критерия Рейнольдса змеевиков малого радиуса ггиба.

Библиографический список

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа . — 7-е изд. — М.: Дрофа, 2003. — 840 с.

*Сивохин Н.Ю., студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ТЕСТОВОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТС ДЕАЭРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ПТУ К-1000-60/3000

Тестирование знаний специалистов по разным техническим системам ядерного реактора считается ключевым моментом в тренировке персонала атомной электростанции. Эта проверка - важный и результативный метод обучения студентов.

ТС ДУ предназначена для: удаления коррозионно-активных газов из поступающих в ДУ различных потоков воды (конденсат, дренажи, добавочная вода); создания запаса питательной воды в баках-аккумуляторах деаэраторов, достаточного для подпитки ПГ питательной водой в течении 3-4 минут при прекращении подачи воды в деаэраторы; подачи питательной воды из деаэраторов в ПГ (через ПВД или помимо них). В состав ТС ДУ входят: 1. Два деаэрационных бака; 2. Четыре вертикальных колонки, по две на каждый деаэрационный бак; 3. Двенадцать импульсно-предохранительных устройств коллектора греющего пара деаэраторов; 4. Насос аварийной подпитки деаэраторов; 5. Трубопроводы, служащие технологическими связями, и арматура, предназначенная для выполнения необходимых переключений; 6. КИП и средства автоматики и защиты, предназначенные для контроля работы системы и автоматизации технологического процесса.

К тестированию приняты режимы нормальной эксплуатации ТС ДУ: 1. Подготовка к пуску; 2. Пуск; 3. Работа на мощности; 4. Останов; 5. Вывод в ремонт.

Разработка тестовой программы осуществляется через систему "Аттестат", которая предоставляет возможности: 1. Определять персональный объем знаний и содержание изучаемых предметов для каждой категории учащихся в соответствии с требованиями учебной программы и/или должностных инструкций; 2. Планировать проведение как групповых, так и индивидуальных занятий, устанавливая сроки, время, объем и порядок изучения материалов, а также методику подачи учебного материала, включая начальный, промежуточный и итоговый контроль знаний; 3. Гарантировать возможность самостоятельной работы студентов с учебными материалами; 4. Осуществлять разнообразные формы проверки знаний; 5. Создавать новые КОС и модифицировать уже существующие.

Библиографический список

1. Инструкции по эксплуатации энергоблока № 3 Калининской АЭС.
2. Альбом схем ТС энергоблока № 3 Калининской АЭС.

*Сивохин Н.Ю., студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ТЕСТОВОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТС ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ПТУ К-1000-60/3000

Тестирование знаний специалистов по разным техническим системам ядерного реактора считается ключевым моментом в тренировке персонала атомной электростанции. Эта проверка - важный и результативный метод обучения студентов.

ТС ПВ предназначена для поддержания нормального уровня воды в ПГ при работе ЭБ в нормальных режимах, а также в режимах пуска, останова и расхолаживания первого контура. В состав ТС ПВ входят: 1. Подогреватели высокого давления; 2. Деаэраторы со вспомогательным оборудованием; 3. Турбопитательные насосы со вспомогательным оборудованием; 4. Вспомогательные питательные электронасосы; 5. Аварийные питательные электронасосы; 6. Трубопроводы, служащие технологическими связями, и арматура, предназначенная для выполнения необходимых переключений; 7. КИП и средства автоматики и защиты, предназначенные для контроля работы системы и автоматизации технологического процесса.

К тестированию приняты режимы нормальной эксплуатации ТС ПВ: 1. Подготовка к пуску; 2. Пуск; 3. Работа на мощности; 4. Останов; 5. Вывод в ремонт.

Разработка тестовой программы осуществляется через систему "Аттестат", которая предоставляет возможности: 1. Определять персональный объем знаний и содержание изучаемых предметов для каждой категории учащихся в соответствии с требованиями учебной программы и/или должностных инструкций; 2. Планировать проведение как групповых, так и индивидуальных занятий, устанавливая сроки, время, объем и порядок изучения материалов, а также методику подачи учебного материала, включая начальный, промежуточный и итоговый контроль знаний; 3. Гарантировать возможность самостоятельной работы студентов с учебными материалами; 4. Осуществлять разнообразные формы проверки знаний; 5. Создавать новые КОС и модифицировать уже существующие.

Библиографический список

1. Инструкции по эксплуатации энергоблока № 3 Калининской АЭС.
2. Альбом схем ТС энергоблока № 3 Калининской АЭС.

*Сивохин Н.Ю., студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ТЕСТОВОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТС ТУРБОПИТАТЕЛЬНОГО НАСОСА ПТУ К-1000-60/3000

Тестирование знаний специалистов по разным техническим системам ядерного реактора считается ключевым моментом в тренировке персонала атомной электростанции. Эта проверка - важный и результативный метод обучения студентов.

ТС ТПН предназначена для подачи питательной воды из ДУ через систему трубопроводов ТС ПВ в ПГ в режиме нормальной эксплуатации энергоблока. Для привода ПН предназначена паровая турбина К-10-5/3400. На ЭБ устанавливаются два ТПН, которые обеспечивают номинальную нагрузку. При отключении одного ТПН нагрузка ЭБ снижается до 50%. В состав ТС ТПН входят: 1. Питательный насос; 2. Бустерный насос; 3. Приводная ПТ; 4. Конденсатор приводной ПТ; 5. Эжектор пусковой приводной ПТ; 6. Эжектор основной приводной ПТ. 7. Эжектор системы отсоса приводной ПТ; 8. Конденсатные насосы приводной ПТ; 9. Редуктор ТПН; 10. АСРЗ; 11. Система маслоснабжения ТС ТПН.

К тестированию приняты режимы нормальной эксплуатации ТС ТПН: 1. Подготовка к пуску; 2. Пуск; 3. Работа на мощности; 4. Останов; 5. Вывод в ремонт.

Разработка тестовой программы осуществляется через систему "Атестат", которая предоставляет возможности: 1. Определять персональный объем знаний и содержание изучаемых предметов для каждой категории учащихся в соответствии с требованиями учебной программы и/или должностных инструкций; 2. Планировать проведение как групповых, так и индивидуальных занятий, устанавливая сроки, время, объем и порядок изучения материалов, а также методику подачи учебного материала, включая начальный, промежуточный и итоговый контроль знаний; 3. Гарантировать возможность самостоятельной работы студентов с учебными материалами; 4. Осуществлять разнообразные формы проверки знаний; 5. Создавать новые КОС и модифицировать уже существующие.

Библиографический список

1. Инструкции по эксплуатации энергоблока № 3 Калининской АЭС.
2. Альбом схем ТС энергоблока № 3 Калининской АЭС.

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОЛЬСКОЙ АЭС

Одним из самых перспективных способов повышения КИУМ АЭС, а, следовательно, и её эффективности является производство водорода на станции методом электролиза воды для коммерческой продажи.

На данный момент на Кольской АЭС средний запас мощности по месяцам составляет 360 МВт, а минимальный 40 МВт. Следует обратить внимание на то, что наиболее рациональный режим производства водорода – это круглосуточный. Если использовать для электролиза ночную “провальную” электроэнергию, то даже при использовании двухставочного тарифа на электроэнергию, себестоимость водорода возрастает в 2-3 раза.

Число часов работы в году является одним из ключевых слагаемых в себестоимости производимого водорода и для повышения эффективности важно увеличивать данный показатель. С учетом ТОиР число часов работы комплекса по производству водорода в году составляет около 8000 ч. Поэтому предельное количество потребления электроэнергии комплекса по производству водорода рационально установить меньше среднего запаса по мощности, то есть не более 100 МВт.

В итоге при мощности комплекса 100 МВт себестоимость водорода снизится на 20% и будет составлять 300 рублей за нм^3 водорода. Это так же снизит время окупаемости комплекса до четырех с половиной лет.

Средняя нагрузка на Кольской АЭС за год возрастет на 91 МВт, а КИУМ возрастет на 6 %. Стоит отметить, что дальнейшее увеличение производительности комплекса будет отражаться на повышении КИУМ, но число часов работы на номинальной мощности комплекса по производству водорода будет уменьшаться, что увеличит себестоимость водорода.

Данное решение может быть реализовано и на других АЭС.

Библиографический список

1. Комбинирование водородных энергетических циклов с атомными электростанциями / Р.З. Аминов, А.Н. Байрамов; Саратовский научный центр РАН. – М.: Наука, 2016. – 254 с. – ISBN 978-5-02-039956-3.

*Д.С. Соколов, студ.; Т.Д. Демкина, асп.;
рук. Д.В. Доронков, к.т.н., доц.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ВЫХОДНОМ УЧАСТКЕ ТОПЛИВНОЙ КАССЕТЫ РЕАКТОРА РИТМ АСММ

Сейчас ведутся работы по созданию АСММ с реактором РИТМ-200С, созданным на основе судовых технологий. Новая активная зона реактора РИТМ-200С отличается активной зоны реакторов атомных ледоколов проекта 22220, что требует проведения работ по обоснованию её теплотехнической надежности [1]. Теплогидравлический расчет лежит в основе обоснования теплотехнической надежности и требует достоверных данных о гидродинамике теплоносителя, что и обусловило проведение исследования течения теплоносителя на выходе из ТВС.

Моделирование гидродинамики теплоносителя в выходном участке ТВС проводилось на аэродинамическом стенде, состоящим из системы нагнетания воздушного потока, экспериментальной модели и измерительного комплекса. Течение водяного теплоносителя моделируется воздушным потоком, основываясь на теории гидродинамического подобия. Модель представляет собой шестигранный канал с установленными внутри элементами выходного участка ТВС. Изучение гидродинамики теплоносителя на выходе из ТВС осуществлялось пневмометрическим методом, заключающимся в измерении величины скорости потока пневмометрическим датчиком с погрешностью, не превышающей 5%. Исследование поперечных течений теплоносителя производилось с помощью метода впрыска контрастной примеси (газ пропан) в поток воздуха. Измерение концентрации примеси осуществлялось с погрешностью не превышающей 1,5%

На основе экспериментов предложено техническое решение, основанное на исключении из конструкции головки шести сливных отверстий при сохранении шести сливных окон. Такое изменение конструкции головки позволит интенсифицировать перемешивание теплоносителя за счет усиления радиальных потоков на выходе из сливных окон путем исключения аксиального течения теплоносителя из сливных отверстий. Работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (тема № FSWE-2024-0003)

Библиографический список

1. Реакторные установки для атомных станций малой мощности / В.В. Петрунин // Вестник Российской академии наук. – 2021. – Т. 91. Вып. 6. – С. 528–540.

*Д.О. Фомичев, асп.; рук. В.А. Горбунов, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КРОСС-ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНОГО ПАРАМЕТРА ТВЭЛА НА ЕГО ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы) являются одними из ключевых компонентов АЭС. От правильного расчета и моделирования процессов в активной зоне зависит безопасность всей ядерной энергетической установки. Ввиду сложности физических процессов в реакторе, точный аналитический расчет представляет собой чрезвычайно трудную задачу [1], в то время как проводить эксперименты с материалами ядерной техники крайне дорого, либо невозможно вовсе. Вместо этого используются специализированные программы для теплофизического моделирования, такие как COMSOL Multiphysics, ANSYS Fluent и др. Однако, результаты, полученные с применением различных пакетов, могут отличаться, поэтому для подтверждения достоверности необходимо проводить расчеты с использованием нескольких программных средств.

В работе [2] проводилось моделирование ТВЭЛов реактора ВВЭР и исследование влияния конструктивного параметра на коэффициент неравномерности тепловыделения. Модели разрабатывались с помощью пакета COMSOL Multiphysics. Данный пакет не входит в перечень программных средств, рекомендованных Росатомом. В то же время ANSYS Fluent является официально допущенным программным обеспечением для подобных расчетов. Таким образом, необходимо проведение кросс-верификации результатов моделирования с использованием лицензированных средств для подтверждения расчетов.

Результаты моделирования, выполненного в ANSYS Fluent, показали, что максимальная относительная погрешность определения температуры ТВЭЛ по сравнению с моделью в COMSOL не превышает 1% (1-2 °С), полученная точность соответствует погрешности измерительных приборов. Этим подтверждается, что результаты, полученные в работе [2], верифицируются с помощью другого программного пакета и соответствуют действительности.

Библиографический список

- 1. Горбунов В.А., Иванова Н.Б., Лоншаков Н.А., Белов Я.В.** Разработка модели по определению температурного поля ТВЭЛ в двумерной постановке задачи. // Известия вузов. Ядерная энергетика, 2019. - № 2. - 174-184 с.
- 2. Горбунов В.А., Теплякова С.С., Лоншаков Н.А., Андрианов С.Г., Минеев П.А.** Исследование влияния конструктивного параметра тепловыделяющего элемента на коэффициент неравномерности теплового выделения по высоте реактора ВВЭР-1000. // Известия вузов. Ядерная энергетика, 2023. - № 2. - 27-40 с.

*Р.А. Федорцов, студент; рук. А.Г. Ильченко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ЭНЕРГООБЛОКОВ РОСТОВСКОЙ АЭС

Существующие системы регенерации высокого давления на Ростовской АЭС работают уже очень давно, и за это время у ПВД коллекторно-спирального типа выявился существенный недостаток – размыв входных участков змеевиков.

Частые внеплановые ремонты ПВД коллекторно-спирального типа (ПВ-2500-97) из-за данного недостатка снижают нагрузку энергоблока в среднем на 19 МВт. В работе рассмотрена возможность замены существующих ПВД коллекторно-спирального типа на ПВД камерного типа с U-образными трубками, которые практически не требуют затрат на ремонт.

Использование для изготовления поверхности теплообмена длинномерных бесшовных труб из нержавеющей стали, позволит:

- исключить из конструкции ПВД более 2600 неконтролируемых сварных соединений, имеющихся в ПВ-2500-97 (приварка спиральных змеевиков к коллекторам, сварные швы частей спиралей);

- уменьшить гидравлическое сопротивление в трубках в 1,5-2 раза.

- устранить эрозивно-коррозионный износ спиральных змеевиков, характерный для ПВ-2500-97.

- улучшить водно-химический режим парогенераторов, за счет резкого снижения концентрации железа в питательной воде, что в свою очередь увеличит продолжительность работы парогенераторов без химической очистки в 2-2,5 раза.

Опыт эксплуатации ПВД камерного типа на Калининской АЭС показывает, что после замены температура питательной воды за подогревателями в среднем увеличивается на 1,5 °С, электрическая мощность турбины увеличивается на 1,3 МВт, а расходы на собственные нужды снижаются. Так же снижаются и расходы на ремонт ПВД.

Годовой экономический эффект от замены ПВД коллекторно-спирального типа на ПВД камерного типа согласно расчетам составил 146,2 млн. руб. В том числе – за счет снижения недовыработки электроэнергии – 54,6 млн. руб и вследствие повышения температуры питательной воды – 76 млн. руб. Кроме того снижаются затраты на внеплановые ремонты подогревателей.

Все это подтверждает целесообразность замены ПВД коллекторно-спирального типа на ПВД камерного типа на Ростовской АЭС.

*А.Д. Фефилов, студ.; М.Н. Мечтаева, ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ ПГ ДЛЯ ПРОЕКТА АЭС С ВВЭР-ТОИ

В состав реакторных установок с водо-водяными реакторами входят парогенераторы (ПГ). Самые современные российские парогенераторы: ПГВ-1000МКО и ПГВ-1000МКП.

Сравним парогенератор ПГВ-1000МКО и его предшественник ПГВ-1000МКП. Принципиально они одинаковы. ПГВ-1000МКО имеет мощность, на 3% большую, чем ПГВ-1000МКП. Это было достигнуто повышением площади поверхности теплообмена за счет увеличения длины трубной системы и всего ПГ на 1м, что повлекло за собой следующие проблемы: 1) увеличена металлоёмкость корпуса, внутрикорпусных устройств, включая трубы теплообменной поверхности, причем при повышении мощности ПГВ-1000МКО на 3% по сравнению с ПГВ-1000МКП, площадь ПТО увеличена на 9%; 2) намного усложняется и удорожается транспортировка ПГ, из-за исключения возможности перевозки данного ПГ на поезде.

Еще одно отличие заключается в наличии единственного патрубка отбора пара, в ПГВ-1000МКП их было 10. Наличие всего одного патрубка отбора пара может привести к неравномерному отбору, что, в свою очередь, может привести к непредсказуемым последствиям.

Повышение мощности ПГВ-1000МКО по сравнению с ПГВ-1000МКП за счет увеличения длины труб с сохранением их количества – спорное решение. В ходе выполнения данной работы посчитано, что можно было повысить мощность за счет увеличения количества труб ПТО при сохранении их длины, в таком случае количество труб прибавится на 488 штук, то есть на 4,45%. Учитывая данные обстоятельства, было решено спроектировать аналог ПГВ-1000МКО, который было бы возможно перевозить с помощью железных дорог. При положительном исходе проектирования результат можно использовать для внесения корректировок в проект АЭС с ВВЭР-ТОИ.

Библиографический список

1. **Степанов В.Ф.** Парогенераторы АЭС. Часть1, учебное пособие/ ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», - Иваново, 2020. – 144с.;
2. **Лахов Д.А.** Горизонтальный парогенератор. Проблемы повышения мощности и возможные пути решения/ Д.А. Лахов, С.А. Харченко // Материалы науч.-техн. конф. молодых специалистов ОКБ «Гидропресс». – Подольск: ОАО ОКБ «Гидропресс», 2012. – 7 с.;
3. ОКБ «Гидропресс», ПООБ ПГВ-1000МКП, 2012. – 33с.

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

ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОТ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Ядерная энергетика продолжает развиваться, и одним из самых захватывающих направлений в этой области являются ядерные реакторы малой мощности от 5 до 50 МВт (ЯРММ). Эти инновационные устройства предлагают новые возможности для обеспечения теплоснабжения, которые могут изменить ландшафт энергетической инфраструктуры. ЯРММ заслуживают внимания, они могут поменять наше представление о теплоснабжении от атомных электростанций (АЭС).

ЯРММ обладают компактным размером и высокой эффективностью. Они могут быть размещены даже в отдаленных районах, где традиционные источники энергии неэффективны или недоступны. Это делает их идеальным выбором для теплоснабжения малых поселений, промышленных объектов или даже морских платформ, и универсальным решением для различных климатических и географических условий. ЯРММ обладают высоким коэффициентом использования топлива, что делает их эффективным выбором для обеспечения теплоснабжения. Они способны работать на протяжении длительного времени без необходимости частой замены топлива.

В отличие от традиционных источников энергии, ЯРММ не выделяют в атмосферу углекислый газ или другие вредные выбросы. Это значительно снижает воздействие на окружающую среду и способствует более чистому и экологически устойчивому теплоснабжению.

Современные технологии в области ядерной энергетики обеспечивают высокий уровень безопасности и надежности ЯРММ. Строгие стандарты и регулярные проверки гарантируют, что эти устройства работают безопасно и эффективно в течение всего своего срока службы, который может достигать 60 лет.

Внедрение ЯРММ может быть экономически выгодным решением для обеспечения теплоснабжения небольших потребителей, особенно расположенных в труднодоступных районах. Они обладают низкими эксплуатационными расходами и могут значительно снизить зависимость от импортированных источников энергии, что способствует экономическому развитию регионов.

Внедрение ЯРММ в систему теплоснабжения представляет собой многообещающий шаг к обеспечению энергетической безопасности и устойчивого развития, открывая новые горизонты для инноваций и прогресса.

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

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПОДПИТКИ И БОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ПЕРВОМ И ВТОРОМ ЭНЕРГООБЛОКАХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ АЭС-2

Система подпитки и борного регулирования является одной из систем, которые обеспечивают безопасную работу АЭС. С ее помощью осуществляется управление цепной реакцией деления и недопущение критичности при перегрузке топлива.

Опыт эксплуатации блоков №1 и №2 Ленинградской АЭС-2 показал, что имеют место течи теплоносителя из первого контура в промконтур системы охлаждения ответственных потребителей. Возник вопрос о необходимости модернизации системы.

В ходе исследования был проанализирован опыт эксплуатации системы подпитки и борного регулирования и рассмотрены два варианта модернизации участка системы:

1. Резервирование теплообменника аварийного вывода теплоносителя;
2. Дооснащение участка трубопроводной линией, которая врезается после доохладителя продувки и осуществляет подачу на уплотнения главного циркуляционного насоса.

Математическая модель требуемого участка системы подпитки и борного регулирования разрабатывалась в среде SimInTech. Также была проведена экономическая оценка вариантов модернизации.

Исходя из полученных результатов моделирования по технико-экономическим соображениям был выбран второй способ модернизации системы. Данный вариант удовлетворяет всем требованиям безопасной эксплуатации и является наиболее экономически выгодным.

Библиографический список

1. **Денисов В.П.** Реакторные установки ВВЭР для атомных электростанций/ Денисов В. П., Драгунов Ю. Г. – Москва, 2002.
2. **Ефимов А.В.** Совершенствование и оптимизация моделей, процессов, конструкций и режимов работы энергетического оборудования АЭС, ТЭС и отопительных котельных / А. В. Ефимов, Л. В. Гончаренко, Т. В.
3. **НП-001-15** Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций».

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

АНАЛИЗ РАБОТЫ И ВЫЯВЛЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ПУТЕЙ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ И СИСТЕМЫ ВОДОВОДОВ ПОДПИТКИ НА ЭНЕРГБЛОКЕ С ВВЭР-1200

Опыт эксплуатации энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС - 2 показывает, что в летний период значение температуры охлаждающей воды превышает проектную величину, что свидетельствует о недостаточной эффективности работы системы технического водоснабжения. Основным фактором, оказывающим негативное влияние на эффективность работы этой системы, является образование карбонатных отложений на поверхностях теплообменного оборудования и конденсаторов.

В работе произведен анализ возможной модернизации системы подачи подпиточной воды и систем водоводов подпитки для первого и второго блока Нововоронежской АЭС – 2. Данная модернизация проводится для увеличения расхода подпиточной воды на энергоблок с целью повышения эффективности теплообменного оборудования и снижения расходов на его очистку.

Основываясь на опыте эксплуатации системы подпитки основной охлаждающей воды в работе предложен наиболее оптимальный вариант модернизации:

- изменить схему работы насосов – три в работе, один в резерве;
- дооснастить камеру переключений дополнительными фильтрами предочистки и тонкой очистки;
- в камере арматуры системы подпитки градирни заменить кран шаровой регулирующей Ду500 на регулирующей клапан Ду700.

Проведение описанных мероприятий позволит оптимизировать затраты на станцию, а главное – повысить надежность и безопасность всей системы водоснабжения Нововоронежской АЭС - 2.

Библиографический список

1. Шелегов А.С., Лескин С.Т., Слободчук В.И. Насосное оборудование АЭС: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 348с.
2. НП-095-15 Основные требования к вероятностному анализу безопасности блока атомной станции.
3. НП-001-15 Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций».

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

СОВРЕМЕННЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ПРОЕКТЫ КОСМИЧЕСКИХ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В октябре 2009 года был утвержден проект «Создания транспортно-энергетического модуля на основе ядерной энергодвигательной установки мегаваттного класса» (ТЭМ). Проект разрабатывается при сотрудничестве Роскосмоса и Росатома.

Модуль состоит из энергоблока с реакторной установкой, электроракетной двигательной установки (ЭРД) и приборно-агрегатного комплекса. Конструкция также состоит из раздвижных ферм, стыковочного узла, солнечных батарей, капельного холодильника-излучателя, маршевых электрореактивных двигателей, системы преобразования энергии, зоны размещения робототехнических средств. Сборка установки может осуществляться на орбите с использованием МКС.

ТЭМ должен обеспечивать управление ЭРД, генерацию заданной электрической мощности, выдачу заданных импульсов тяги ЭРД и управление полетом на всех этапах межорбитальных перелетов и при функционировании на целевой орбите и орбите базирования, включая операции по сближению и стыковке с модулем полезной нагрузки [1].

Если проект удастся реализовать, это станет настоящим прорывом в развитии мировой космонавтики. Речь идет об основе для создания универсальной платформы с ядерной электростанцией на борту для освоения Марса и исследования внешних планет Солнечной системы и дальнего космоса в целом. На основе ТЭМ также возможно создание космической станции, межпланетного ретранслятора, космического аппарата военного и разведывательного назначения.

Основная сложность проекта связана с его революционностью, всё оборудование необходимо испытать в составе всего комплекса и подтвердить безотказность работы в условиях космоса в течение многих лет.

Библиографический список

1. "РОСКОСМОС". Создание транспортно-энергетического модуля на основе ядерной энергодвигательной установки мегаваттного класса. Сайт государственных закупок РФ. zakupki.gov.ru (23 июня 2016). — Извещение о проведении закупки у единственного поставщика (исполнителя, подрядчика) от 23.06.2016 №0995000000216000019.

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

ПЕРСПЕКТИВЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В РОССИИ И В МИРЕ

Использование космических ядерных энергетических установок (ЯЭУ) в перспективе позволит эффективно решить широкий спектр задач в освоении космоса. Одна из них – полет на Марс, для которого планируется использовать ядерные двигательные установки. Одна из разработок – Межпланетный экспедиционный комплекс – состоит из межпланетного орбитального корабля с энергодвигательным комплексом и взлетно-посадочного комплекса, выполняющего доставку части экипажа на поверхность Марса. Второй из возможных вариантов схемы экспедиции на Марс предполагает, что на поверхности Марса заранее создается база с инфраструктурой, а потом осуществляется пилотируемая экспедиция с высадкой.

Кроме того, ядерная энергетика может обеспечить круглосуточное оперативное радиолокационное наблюдение земной поверхности. Применение радиолокационных методов зондирования обусловлено их уникальными свойствами: независимостью наблюдения от погодных условий, сверхчувствительностью к неровностям поверхности и содержанию воды в земном покрове.

Помимо этого, идёт работа по созданию многоцветного межорбитального буксира (ММБ). Его использование может быть решением проблемы очистки космоса от отработавших космических аппаратов. На базе ММБ можно создать: космический заправщик, космический ремонтник для доставки и замены функциональных модулей, космический монтажник [1].

Ещё одним перспективным направлением является космическое захоронение особо опасных радиоактивных отходов (ООО), которое представляет собой вывод специального контейнера с ООО на выбранную траекторию за пределами сферы тяготения нашей планеты.

Библиографический список

1. Легостаев В.П., Лопота В.А., Синявский В.В. Перспективы и эффективность применения космических ядерно-энергетических установок и ядерных электроракетных двигательных установок // Космическая техника и технологии. - 2013. - №1. - С. 4-15.

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

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Одной из основных научно-технических проблем создания ядерных ракетных двигателей (ЯРД) является обеспечение максимально возможной температуры газа на выходе из реактора, минимума температурных неравномерностей в рабочем теле.

Во избежание образования зон местного перегрева и разрушения конструкции средняя температура рабочего тела должна выбираться так, чтобы возможные отклонения параметров от расчетных значений не приводили совместно к превышению допустимой температуры материала стенки каналов и чтобы тепловые потоки не превосходили ограничивающих значений. Для уменьшения различий в температурах нагрева рабочего тела необходимы физическое и гидравлическое профилирования [1].

Существующие возможности производства оборудования недостаточны для создания ЯРД в масштабе, необходимом для грузовых или пилотируемых миссий. Кроме того, нейтронно-физические, теплогидравлические программные инструменты не способны надежно моделировать системы ЯРД, для которых нет экспериментальных данных для проверки модели, особенно для переходных процессов.

Отдельной задачей является наземная отработка пусковых режимов. Пуск проводится в полностью автоматическом режиме. Система автоматического управления является единственным средством влияния на ход физических процессов при автономном полёте, поэтому разработке логики функционирования и выбора настроечных параметров уделяется значительное внимание. Большой объём компьютерных моделей позволит сократить сроки отработки и повысить обоснованность конструкторских решений [2].

Библиографический список

1. Ядерные ракетные двигатели. Ю.Г. Демянко, Г.В. Кошохов, А.С. Коротеев, Е.П. Кузьмин, А.А. Павельев ООО «Норма-Информ». 2001 г. - 416 с.
2. Скорлыгин В.В., Анненков М.Е., Клокова О.Н. Некоторые проблемы наземной отработки пусковых режимов космических термоэмиссионных ЯЭУ второго поколения топлива // Космическая техника и технологии. - 2023. - №3. - С. 73-87.

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

ФИЗИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Ядерная тепловая двигательная установка состоит из трех подсистем: ядерного реактора, ракетного двигателя и подсистемы хранения и управления топливом. Подсистема реактора состоит из активной зоны, барабанов управления и их исполнительных механизмов, отражателя, защиты и герметичной оболочки. Подсистема двигателя состоит из турбомшины и сопла, а бак жидкого водорода и баки для наддува гелия являются частью подсистемы хранения топлива и управления. Жидкий водород, нагреваясь, используется для создания тяги [1].

Эффективность космического реактора как физического устройства во многом определяется нагрузкой. Её минимизация обеспечивается подбором рациональной формы и размеров реактора, материалов активной зоны и отражателя, выбором типа и расположения подвижных поглощающих нейтроны элементов, обеспечивающих регулирование мощности и аварийную защиту. Наиболее приемлемым для реакторов ЯРД делящимся материалом является уран, обогащенный до 90% по изотопу уран-235.

У ядерных энергетических установок космического назначения возникают дополнительные проблемы, в частности, связанные с преобразованием тепловой энергии в электрическую: создание холодильника-излучателя с необходимыми свойствами надежности и массогабаритными характеристиками и теплообменника-рекуператора, обеспечивающего необходимый коэффициент полезного действия установки [2].

Создание ядерных энергодвигательных установок является необходимым условием решения актуальных перспективных задач в ближнем и дальнем космосе, и развития космонавтики XXI века.

Библиографический список

1. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2021. Space Nuclear Propulsion for Human Mars Exploration. Washington, DC: The National Academies Press. URL: <https://doi.org/10.17226/25977>.
2. Ядерные ракетные двигатели. Ю.Г. Демянко, Г.В. Кошюхов, А.С. Коротеев, Е.П. Кузьмин, А.А. Павельев ООО «Норма-Информ». 2001 г. - 416 с.

*В.М. Ключин, студ.; А.В. Куликова, студ.;
А.А. Мальгин, студ; рук. М.А. Вольман, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭНЕРГОЁМКИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

АЭС — это источник теплоты и электроэнергии. Актуальным представляется вопрос размещения вблизи атомных станций энергоёмких предприятий. Рядом с каждой станцией находится город-спутник, население которого имеет целый ряд потребностей, среди которых, например, снабжение продовольствием. В числе предприятий, целесообразных для размещения, могут быть тепличные комплексы.

Предметом данных тезисов является вопрос разработки технологического решения по размещению комплекса, снабжаемого энергией от АЭС и являющегося поставщиком овощей и фруктов для города-спутника.

Стоит отметить, что опыт размещения тепличных комплексов вблизи АЭС имел место. Однако решение обозначенной проблемы требует разработки оптимизированного, уникального технологического решения, что значительно будет увеличивать экономическую эффективность. Это объясняется тем, что каждая АЭС и соответствующий ей город-спутник обладают целым рядом уникальных особенностей, связанных с расположением, климатическими условиями, логистическими особенностями, плотностью населения в регионе и т.д.

В настоящее время тенденция на домашнее выращивание овощей и фруктов падает, поэтому данная продукция будет востребована. На прилавках магазинов будут находиться овощи, выращенные в экологических условиях, с применением новых технологий и по оптимальным ценам.

В работе показано, что строительство тепличного комплекса рядом с АЭС является эффективным. Рассмотрены основные особенности технологических схем, принципы их расчета, показаны варианты для различных АЭС нашей страны.

Библиографический список

- 1. Соколов Е.Я.** Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 7-е изд., стереот. - М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.
- 2. Айзенберг Н.И.** Атомная энергетика в России. Топливная компания Росатома ТВЭЛ. Иркутск: Ин-т систем энергетики им. Л.А. Мелентьева, 2011.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В СМЕШИВАЮЩЕМ ПОДОГРЕВАТЕЛЕ ТИПА ПНСВ- 4000-2А-М В СИСТЕМЕ РЕГЕНЕРАЦИИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ К-1200-6,8/50

В составе основного оборудования атомных станций нового поколения «З+» с улучшенными технико-экономическими показателями (Нововоронежская АЭС-2, Ленинградская АЭС-2, Белорусская АЭС-2) применена быстроходная турбоустановка К-1200-6,8/50 производства АО «Силовые машины». В состав системы регенерации низкого давления в качестве второго по ходу основного конденсата теплообменника применен смешивающий подогреватель [1] (далее – ПНД-2). ПНД-2 представляет собой вертикальный цельносварной сосуд высотой 11,04 м, разделенный внутри перегородкой, делящей пространство на камеру подогрева (смешения) и камеру сбора конденсата с линией аварийного перелива в конденсатор турбины. Подвод пара из отбора турбины осуществляется через два патрубка с обратными клапанами (захлопками), установленными внутри корпуса подогревателя.

В процессе нормальной эксплуатации энергоблока АЭС может произойти отказ основного насосного оборудования (ГЦН, ПЭН), срабатывание противоаварийной автоматики от энергосистемы, что приводит к ускоренной разгрузке энергоблока (УПЗ), быстрому снижению электрической мощности – разгрузка паровой турбины К-1200-6,8/50. Быстрое изменение расхода пара через турбину приводит к соответствующему снижению давления в отборах. Резкое снижение давления пара в отборе 7 на ПНД-2 приводит закрытию захлопков и отсечению на время смешивающего подогревателя по пару. В результате начинается эффект «запирания» слива основного конденсата в конденсатосборник ПНД-2 и далее на всас конденсатных насосов второй ступени. Динамика реального изменения уровня в ПНД-2 приведена на рисунке 1.

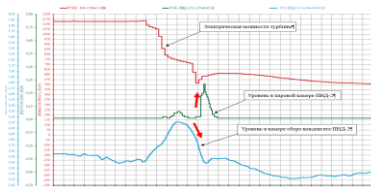


Рисунок 1 – Изменения уровней в ПНД-2

Подобная динамика изменения уровня в ПНД-2 требует от проектного института реализации в средствах АСУ ТП взаимосвязанных, так называемых «балансных», алгоритмов работы основных регулирующих клапанов системы основного конденсата.

Библиографический список

1. Патент РФ № 2568027 С1 МПК F22D 1/32. Оpubл. 10.11.2015. Бюл. № 31.

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

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ, ПОДАВАЕМОЙ В ПАРОГЕНЕРАТОРЫ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ, ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ КГТН 415-305А-1 НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ МОЩНОСТЬ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ К-1200-6,8/50

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

В проекте быстроходной установки К-1200-6,8/50 КГТН применен с целью максимальной эффективности утилизации тепла конденсата греющего пара СПП. Выполнив сравнительный анализ между КГТН и насоса-аналога с электроприводом с учетом последнего опыта эксплуатации введенных в промышленную эксплуатацию АЭС РФ большой мощности можно выделить несколько преимуществ КГТН: отсутствие электродвигателя (снижение мощности собственных нужд АЭС), не требуется специальных систем смазки элементов агрегата, простота изготовления, меньшие габариты. Расчетная величина изменения электрической мощности на клеммах генератора при включении /отключении КГТН составляет около 2,2 МВт. На рисунке 1 приведены реальные параметры изменению электрической мощности, температуры питательной воды, полученные при испытаниях на Белорусской АЭС.

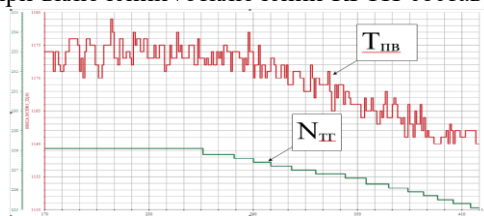


Рисунок 1 – Изменение электрической мощности турбины
Библиографический список

1. Патент РФ № 103866 U1 МПК R04D 13/04. Оpubл. 27.04.2011.
2. Кулаков Е.Н. Повышение эффективности использования тепла конденсата пароперегревателей турбоустановок новых и действующих АЭС / Гав В.Д., Казаров Г.И., Сухоруков Ю.Г., Попов А.В. / Теплоэнергетика – 2023 – № 1. – С. 30 – 39..

СЕКЦИЯ 10
ТЕПЛООБМЕН В ПРОМЫШЛЕННЫХ
УСТАНОВКАХ

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

Секретарь –
студ. Морозов Ю.А.

*М.В. Поляков, студ.; рук. С.К. Попов, д.т.н., проф.
(НИУ МЭИ, г. Москва)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВКИ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛОТЫ ГАЗОВЫХ ОТХОДОВ

Термохимическая рекуперация (ТХР) теплоты газовых отходов посредством паровой конверсии природного газа является одним из эффективных способов утилизации тепловой энергии на промышленных установках. В ходе эндотермической реакции паровой конверсии смесь природного газа и перегретого пара преобразовывается в новое топливо – синтез-газ, характеризующееся более высокой теплотой сгорания.

В ходе данного исследования разработана установка ТХР, исходные данные для расчета которой получены посредством математической модели ГТУ типа SGT-50 с системой ТХР [1]. Данная установка конструктивно выполнена по аналогии с трубчатой печью и включает в себя реактор конверсии для генерации синтез-газа, испаритель для генерации пара и подогреватель парогазовой смеси. На рис. 1 представлена 3D-модель установки ТХР.

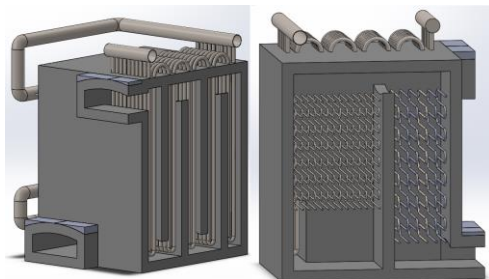


Рисунок 1 – Установка термохимической рекуперации теплоты

Получены значения коэффициентов теплопередачи в различных секциях установки, гидравлические потери в потоке дымовых газов при прохождении через установку, а также значение времени контакта природного газа с катализатором, которое составило $194 \frac{\text{кг кат}\cdot\text{с}}{\text{моль CH}_4}$.

Результаты исследования могут быть использованы при разработке энергосберегающих высокотемпературных установок.

Библиографический список

1. Поляков М.В., Попов С.К. Повышение эффективности использования природного газа в газотурбинных установках посредством термохимической рекуперации // Промышленная энергетика, 2023. № 2. С. 23–31.

*А.Э. Адамкович, студ.; В.В. Юзюк, асп.; рук. М.С. Пурдин, к.т.н.,
доцент (МЭИ, г. Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ГВС С ПАСТЕРИЗАЦИЕЙ

Существует тенденция к увеличению общемирового потребления тепловой и электрической энергии, для выработки которой часто используют ископаемые топлива. В следствии большого углеродного следа возникает парниковый эффект. Основными направлениями современной энергетики являются: использование возобновляемых энергетических ресурсов, низкопотенциальных источников и повышение энергетической эффективности существующих установок.

Целью работы является разработка и исследование особенностей работы низкопотенциальной системы ГВС с пастеризацией. Решены следующие задачи: построение принципиальной схемы ГВС с пастеризацией, использующей теплоту сточных вод, расчет тепловых характеристик, разработка условий безопасной эксплуатации системы.

По требованиям пункта 2.4 СанПиН 2.1.4.2496-09 температура ГВС в местах водоразбора должна составлять 60–75 °С. Такая температура необходима для уничтожения патогенов. Оптимальной температурой воды для человека является 35-40 °С, а достижения уничтожения патогенов возможно такими средствами, как кратковременное повышение температуры [1], облучение ультрафиолетом, увеличение касательного напряжения на стенках труб выше порога закрепления [2], чего можно достичь, например, наложением пульсаций [3], и т.д.

Схема системы ГВС с пастеризацией позволяет в конденсаторе теплового насоса нагреть воду до 70 °С, выдержать под ультрафиолетом в баке заданное время, затем охладить до ≈ 40 °С в испарителе и отправить в систему циркуляции, где скорость потока такая, чтобы патогены не закрепились на стенках труб.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России, гос. задание № FSWF-2023-0017.

Библиографический список

1. **Тартаковский И.С.** и др. Влияние температуры на жизнеспособность планктонных клеток и модельных биопленок *Legionella pneumophila* в воде //Ж. Микробиологии, Эпидемиологии и Иммунобиологии, 2015. №. 5. С. 7-12.
2. **Rickard A.H.** et al. Shear rate moderates community diversity in freshwater biofilms //Applied and environmental microbiology. 2004. Т. 70. №. 12. С. 7426-7435.
3. **Валуева Е.П., Пурдин М.С.** Гидродинамика и теплообмен при пульсирующем с большими амплитудами ламинарном течении в каналах // ТиА, 2018. Т. 25. С. 735-746.

Э.С. Волкова, студ.; рук. Н.М. Савченкова, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА ИЗЛУЧАТЕЛЯ С ТЕПЛОВОЙ ТРУБОЙ

Космическая техника уникальна из-за особых условий работы, что создает сложности при её проектировании и апробировании [1], включая задачу поддержания необходимых температурных режимов. Повышение эффективности, надежности и длительности работы современных энергетических устройств является актуальной проблемой, которая требует особенных подходов, таких как использование тепловых труб [2].

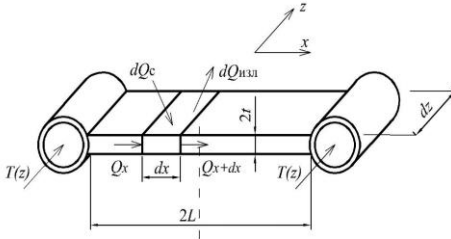


Рисунок 1. Расчётная модель излучателя с контурной тепловой трубой

Контурные тепловые трубы показывают высокую эффективность при передаче тепла на большие расстояния без дополнительных затрат на электроэнергию, что особенно важно для работы в космическом пространстве [3].

Моделирование процессов, происходящих при работе холодильника-излучателя, позволит оценить теплопередающие характеристики и провести сравнение эффективности различных теплопередающих устройств без использования лабораторного оборудования. В данном исследовании рассматриваются несколько конструкций излучателя: ребро, оребрѐнная контурная тепловая труба с фазовым переходом и циркуляцией теплоносителя. Моделирование процессов теплопроводности, течения теплоносителя, теплоотдачи и излучения производится в программах ANSYS и Python.

Библиографический список

1. Гончаров К.А. Опыт разработки и применения тепловых труб для космических аппаратов в научно-производственном объединении имени С.А.Лавочкина / Гончаров К.А., Двирный В.В. // Сибирский аэрокосмический журнал. - 2008. - №1 (18). - С. 123-127.
2. Цаплин С.В. Теплообмен в космосе: учеб. пособие / Цаплин С.В., Большев С.А., Романов А.Е. – Самара: Изд-во Самарского ун-та, 2018. – 92 с
3. Васильев Л.Л. Двухфазные теплопередающие контуры / Васильев Л.Л., Майданик Ю.Ф. // Тепловые процессы в технике. - 2022. - №10. - С. 434-446.

*С.С. Круглов, студ.; рук. В.Ю. Пронин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЗАМЕНА НА ТУРБИНАХ ТИПА ВК -100-7 СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НА АВТОМАТИЗИРОВАННУЮ СИСТЕМУ РЕГУЛИРОВАНИЯ

За длительный срок службы система регулирования турбин ТЭЦ подвергается износу, что может привести:

- к повышению частоты вращения выше уровня настройки автомата безопасности;
- после сброса нагрузки, невозможности удержать холостой ход при пуске турбины:
- неравномерному взятию, снятию и устойчивому поддержанию заданной электрической нагрузки.

Решением данной проблемы является замена старой системы регулирования на автоматизированную электрогидравлическую систему регулирования (ЭГСР) – предназначенную для повышения уровня автоматизации электростанций с учетом современных требований к тепломеханическому оборудованию ТЭЦ и обеспечивающую:

- качественное регулирование основных параметров паровой турбины;
- повышение уровня надежности технологического оборудования и средств автоматизации;
- стабильные показатели работы оборудования;
- увеличение межремонтных периодов оборудования;
- длительной безаварийной работы оборудования;
- снижение трудозатрат на техническое обслуживание и ремонт.

Подобные внедрения уже производились на паровых турбинах ПТ/75-130 на Уфимской ТЭЦ.

Целью нашей работы является внедрение ЭГСР на турбины типа ВК-100-7 ТЭЦ города Норильск с интеграцией в существующую АСУ ТП турбины.

Биографический список

- 1. Булкин А.Е.** Автоматическое регулирование энергоустановок. М.: Издательский дом МЭИ, 2016.
- 2. Новосёлов В.Б.** Разработка методов исследования и совершенствования электрогидравлической системы регулирования и защиты паровых теплофикационных турбин и их элементов. 2014

К.В.Поломоинов, студ.; рук. А.А.Валинеева, ст.пр.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В КОНТУРЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ПЛАВИЛЬНОГО АГРЕГАТА

Любая высокотемпературная технология требует исправного функционирования оборудования, поэтому применяются натриевые контуры охлаждения. Преимущество жидкометаллических теплоносителей в том, что они характеризуются намного меньшими числами Прандтля, большими коэффициентами теплопроводности наряду с меньшими расходами. Сравнение этих показателей представлено в таблице 1.

Был произведен расчет контура охлаждения плавильного агрегата утилизации отходов площадью $9,94\text{м}^2$, в результате которого был получен расход натрия в $10,71\text{ т/ч}$. На рисунке 1 показано распределение температуры по стенкам плавильного агрегата в результате проведенного расчета.

Таблица 1 – Значения чисел Прандтля и коэффициента теплоотдачи для теплоносителей.

Теплоноситель	Число Прандтля	Коэффициент теплопроводности, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$
Пар	1,2332	237,2
Вода	0,8581	0,683
Натрий	0,0068	85,748

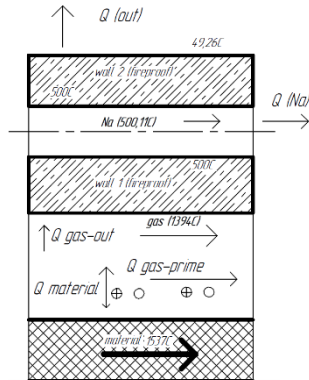


Рисунок 1 – Падение температуры по стенкам плавильного агрегата с натриевым контуром охлаждения

*А.С. Голубов, студ.; Р. Магомедова, асп.; рук. М.С. Пурдин, к.т.н.,
доцент (МЭИ, г. Москва)*

ПОДБОР ФРЕОНА ДЛЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ФРЕОНОВОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

В 2016 году состоялось подписание Парижского соглашения [1], в том числе Российской Федерацией. Основными условиями Парижского соглашения являются: принимать меры по снижению выбросов углекислого газа, сотрудничать в разработке и осуществлении мер по адаптации к изменениям климата, усиливать меры контроля за выбросами парниковых газов, проводить научные исследования в области снижения выбросов парниковых газов и изменений климата.

Одним из способов снижения углеродного следа и повышения энергетической эффективности является снижение температуры теплоносителей различных систем, что снижает тепловые потери с трубопроводов и элементов систем, а также повышает эксергетическую эффективность. В системах отопления максимального эффекта можно достичь переходом на контурные тепловые трубы, заполненные парами фреона. Одним из плюсов таких систем является то, что они не подвержены негативному влиянию пульсаций расхода жидкости [2].

Цель данной работы заключается в анализе свойств различных фреонов для низкопотенциальной системы отопления, эксплуатируемой с температурой от 25 до 40 °С, с учетом их эффективности и экологичности. В рамках цели стоят задачи по составлению таблиц термодинамических и экологических показателей фреонов, рассмотрению особенностей T-S диаграмм состояния веществ, подбору наиболее эффективных и экологических фреонов для низкопотенциальной системы отопления.

В результате подбора удалось выделить негорючие нетоксичные фреоны R1233zd(E), R134a и R13I1. Среди них R134a является наиболее доступным, давление эксплуатации составит ≈ 7 атм, однако он имеет один недостаток – потенциал глобального потепления 1430.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России, гос. задание № FSWF-2023-0017.

Библиографический список

1. «Парижское соглашение», Организация Объединенных Наций, 2015 г.
2. Валуева Е.П., Пурдин М.С. Гидродинамика и теплообмен при пульсирующем с большими амплитудами ламинарном течении в каналах // Теплофизика и Аэромеханика, 2018. Т. 25. С. 735-746.

В.Р. Жихарева, студ.; Н.М. Бонадыков, студ.; рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», г. Москва)

ПРОВЕДЕНИЕ РАСЧЕТОВ ГАЗОТРУБНОГО КОТЛА С ВЕРИФИКАЦИЕЙ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Согласно утвержденной Энергетической стратегии России, на период до 2030 г. планируется уменьшение роли централизованного теплоснабжения в энергосистеме с 43 (2005 г.) до 35 процентов [1]. В связи с этим распространен в эксплуатацию высокоэффективных газотрубных котлов малой мощности, которые применяются для производства теплоносителя в системах отопления, производственных предприятий и технологических объектов. Этот тип котла способен обеспечить высокую производительность и КПД, достигающий 92-93%, несмотря на компактность размеров. В основном распространены газотрубные котлы, которые имеют несколько ходов. Первым ходом является жаровая труба, где осуществляется процесс горения топлива, после чего продукты сгорания проходят поворотную камеру и направляются в пучки дымогарных труб. В них происходит охлаждение продуктов сгорания до низкой температуры за счет нагрева водяного теплоносителя, заполняющего межтрубное пространство котла.

На практике для конструирования газотрубных котлов недостаточно имеющейся нормативно-расчетной базы, так как различные методики характеризуются наличием погрешностей, что требует введения поправок для определенного типа котла [2].

В работе разрабатывается программный код на языке программирования Python для автоматизированного теплового расчета газотрубного котла на основе методики [3] с дополнительными уточнениями, при использовании дополнительных модулей расчета [4].

В результате получена автоматизированная усовершенствованная методика расчета газотрубных котлов, которая была верифицирована на основе данных режимной карты котла [5].

Библиографический список

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации №1715-р «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» от 13 ноября 2009 г.
2. Хаустов С.А. Численное исследование процессов в жаротрубной топке с реверсивным факелом / С.А. Хаустов, А.С. Заворин, Р.Н. Фисенко. ТПУ, 2013.
3. Лумми А.П., Мунц В.А. Расчет жаротрубно-дымогарного котла. Учебное электронное текстовое издание. Екатеринбург, 2009. 31 с.
4. Попов С.К. Модуль расчета «Калориметрическая температура горения»: [сайт]. URL: <https://popovsk.mpei.ru> (дата обращения: 17.04.2024).
5. Петин С.Н., Ванюшкин В.Д., Бурмакина А.В. Производственное обучение на ТЭЦ с газопоршневыми генераторными установками и водогрейными котлами: Учебное пособие. Москва, 2022. 104 с.

Н.С. Гладышев, студ.; рук. А.А. Валинеева (НИУ «МЭИ», г. Москва)
**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
 ТОРРЕФИКАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ ПЕЛЛЕТ**

Торрефикация – это процесс пиролиза биомассы при температуре 200 – 300°C с целью получения твердого углеродсодержащего продукта. Мерой экономической эффективности торрефикации древесных пеллет выбран доход от реализации торрефиката, отнесенный к стоимости исходного материала

$$\bar{S}(\tau) = \frac{S(\tau)}{S_{base}} = MY(\tau) \frac{Q(\tau)}{Q_{base}},$$

где $S_{base} = 150$ евро/т, $Q_{base} = 17000$ кДж/кг – стоимость и теплота сгорания пеллет в базовом варианте [1]; MY – массовый выход торрефиката. На основе экспериментального исследования и математического моделирования получена зависимость $MY = f(\tau)$, которая аппроксимируется функцией (1) с коэффициентами $a_0 = 0,809$, $a_1 = 319,217$, $a_2 = 300,728$. С целью охвата семейства зависимостей $MY = f(\tau)$ для различных видов пеллет в формулу введены коэффициенты k_{asympt} и k_{speed} :

$$MY(\tau) = \frac{a_0 k_{asympt} \tau + a_1 k_{speed}}{\tau + a_2 k_{speed}}. \quad (1)$$

На рис. 1 представлены зависимости $\bar{S}(\tau)$ и $MY(\tau)$ при различных значениях параметров k_{asympt} .

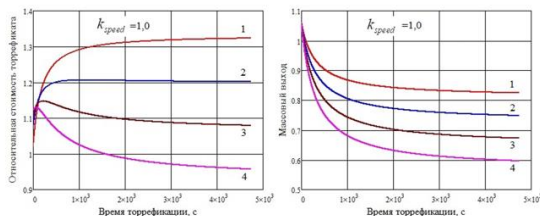


Рисунок 1 – Относительный доход от реализации торрефиката и его массовый выход в зависимости от времени торрефикации: 1 – $k_{asympt} = 1,0$; 2 – $k_{asympt} = 0,9$; 3 – $k_{asympt} = 0,8$; 4 – $k_{asympt} = 0,7$

Процесс торрефикации можно считать эффективным, если относительный доход больше 1,0. Разработанная и апробированная методика обеспечивает обоснованный прогноз экономической эффективности процесса торрефикации древесных пеллет.

Библиографический список

1. Валинеева, А.А. Торрефикация – ресурсосберегающее направление термохимической переработки биомассы / А.А. Валинеева, В.А. Масловский, С.К. Попов, И.Н. Свистунов // Вестник МЭИ. – 2021. – № 4. – С. 22–36.

*П.С. Солдатова, И.Б. Гидулянов, студ.;
рук. О.В.Самышина, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ

В настоящее время теплообменные аппараты широко используются во всех сферах деятельности человека, от сельского хозяйства до объектов атомных или тепловых электростанций [1]. В работах [2, 3] описана математическая модель пластинчатого теплообменника, позволяющая рассчитывать температурные поля теплоносителей и гидравлические характеристики при различных режимах работы. Отмечено, что теплофизические свойства теплоносителей при расчетах приняты постоянными. В действительности теплопроводность, вязкость и плотность газов значительно изменяются с температурой.

Указанная выше математическая модель была усовершенствована путем введения переменных теплофизических свойств теплоносителей. Для оценки влияния зависящих от температуры свойств теплоносителей на точность расчета были проведены дополнительные исследования. В качестве входных параметров для математической модели был принят номинальный режим работы теплообменника. В первом случае задавались постоянные значения плотности, теплоемкости и теплопроводности дымовых газов и воздуха при средних значениях температур. Во втором – задавались зависимости указанных величин от температуры. Разница в значениях температур теплоносителей на выходе составляет: 3°C для воздуха и 2,3°C для дымовых газов. Таким образом, для инженерных расчетов в рассматриваемом диапазоне температур целесообразнее проводить расчеты при постоянных теплофизических параметрах теплоносителей для сокращения времени вычислений.

Библиографический список

1. Кейс В.М. Компактные теплообменники / В.М. Кейс, А.Л. Лондон – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 223 с.
2. Латыпова Ю.М. Опыт применения программного комплекса ANSYS Fluent при расчете пластинчатого теплообменника / Ю.М. Латыпова, Д.А. Долинин, В.Ф. Никишов // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Международ. науч.-практ.конф., – Екатеринбург: УрФУ, 2017. – С. 249-253.
3. Рузанов И.А. Особенности расчета пластинчатого теплообменника в программном комплексе ANSYS FLUENT / Ю.М. Латыпова, И.А. Рузанов, Д.А. Долинин, О.В. Самышина // Тепловые и ядерные энерготехнологии: тринадцатая Междунар. науч.-техн.конф., – Иваново: ИГЭУ.– 2018.– Т.2. – С.44 – 44.

В.А. Вишнякова, К.С. Казаков, А.Н. Лёвин, студ.;
рук. Д.А. Долинин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ КОМПРЕССИИ ПАРА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

В различных сферах промышленности, в процессе работы парoisпользующих установок, образуется большое количество отработанного или вторичного пара низкого давления, значения которого не пригодны для использования в технологических процессах или системах отопления и вентиляции. Однако, с применением механических или тепловых трансформаторов тепла, возможно увеличение давления отработанного пара, что позволяет обеспечить его дальнейшее использование и существенную экономию тепла и топлива [1].

Для повышения давления пара могут применяться турбокомпрессоры. Для уменьшения перегрева в пар впрыскивают воду, что понижает температура перегрева, уменьшает энтальпию пара и снижает удельный расход энергии на сжатие.

Была рассмотрена следующая задача. Начальные параметры: насыщенный пар, расход пара 6,4 т/ч, манометрическое давление 4 бар. Требуемые параметры: насыщенный пар, температура пара 160°C.

Для достижения требуемых параметров пара была предложена схема: нагрев пара в пароперегревателе; повышение давления в компрессоре; впрыск воды для снижения температуры и достижения линии насыщения. Процесс в h - s диаграмме представлен на рис. 1.

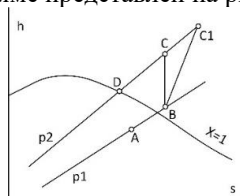


Рис. 1. Процесс в h - s диаграмме: А-В – изобарный нагрев в пароперегревателе; В-С1 – политропное сжатие; В-С – адиабатное сжатие; С1-Д – изобарное охлаждение.

По результатам расчетов в h - s диаграмме были определены параметры установок:

1. Пароперегреватель мощностью 140 кВт.
2. Турбокомпрессор мощностью 165 кВт.
3. Устройство впрыска воды с расходом 0,133 т/ч.

Библиографический список

1. Лебедев П.Д., Теплообменные, сушильные и холодильные установки. Учебник для студентов технических вузов. Изд. 2-е, перераб. - Москва: Энергия, 1972. - 320 с.

М.Ю. Шевяков, студ.; рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)
**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНОГО ОБЛИКА
РЕАКТОРА ЭХА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНВЕРТЕРНЫХ ГАЗОВ**

Современная промышленность активно меняется из-за экологических показателей производства. В Энергетической стратегии России на период до 2035 года уделяется внимание развитию водородной энергетики как одного из основных факторов декарбонизации. Анализ [1] показывает, что использование водорода может быть эффективным при высоких налогах на выбросы парниковых газов, требуются более экономичные методы производства водорода, включая использование конвертерных газов сталеплавильного производства.

В [2] предлагаются способы использования отходов металлургического производства для получения водородосодержащего синтез-газа с последующим получением водорода. Преобразования высокотемпературных газовых отходов в процессе физико-химического взаимодействия при добавлении природного газа для превращения отходов в синтез-газ называют энергохимической аккумуляцией (ЭХА). В [3] представлена схема производства водорода с использованием ЭХА, которая позволяет получать водород с себестоимостью до 7 руб/норм. куб. м при снижении парниковых газов в атмосферу. Производство водорода предлагаемым способом оценивается до 130 тыс. $\text{нм}^3/\text{ч}$ при производстве стали 10 млн т/год.

Для разработки конструктивного облика реактора ЭХА разработана геометрическая модель в Autodesk Inventor. Данная модель позволяет определить геометрические размеры на основании проведения расчетов химогазодинамики в Ansys Fluent и перейти к разработке конструктивных особенностей реактора ЭХА.

Библиографический список

1. **Петин, С.Н.** Моделирование процессов горения природного газа и водорода / С.Н. Петин, В.С. Королев, А.А. Борисов, А.В. Бурмакина // Промышленная энергетика. – 2022. - №12. – С. 36-44. DOI: 10.34831/EP.2023.75.53.004.
2. **Такаги, К.** Патент на изобретение № 2536123, МПК7 C21C5/38. Способ и устройство для охлаждения отходящего газа / К. Такаги, Х. Саима, М. Ясучиро, М. Ясуо. – Заявлено 12.05.2009; опубл. 20.12.2014. Бюл. № 35.
3. **Петин, С.Н.** Разработка способа производства водорода на базе газовых отходов конвертерного производства стали / С.Н. Петин, А.А. Борисов, Д.Д. Голдобин, В.С. Королев, А.В. Бурмакина // Промышленная энергетика. – 2023. - №6. – С. 32-42. DOI: 10.34831/EP.2023.75.53.004.

Н.С. Мольков, асп.;

рук. О.Б. Колибаба, к.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)

ВЛИЯНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И МЕТОДА РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЯ

Основываясь на результатах проведенных энергетических обследованиях коммерческих приборов учета энергоресурсов можно сделать вывод, что здания, построенные в период 1960-1980, и вновь возводимые здания не соответствуют классу энергоэффективности А-В. Для уменьшения энергопотребления здания необходимо применять энергетически эффективные материалы ограждающих конструкций и совершенствовать методы генерации, распределения и потребления энергии внутри здания [1].

В ходе исследования на основе теплового баланса разработан программный комплекс [2], позволяющий определять и обосновывать класс энергоэффективности здания на основе фактических параметров коммерческого узла учета тепловой энергии. В рамках проведения исследования было рассмотрено сооружение промышленного типа и определено понижение класса энергоэффективности до класса «Е» в интервале пяти лет. Для уменьшения тепловых потерь и снижения потребления тепловой энергии были выбраны навесные вентилируемые фасады, позволяющие повысить теплоизоляционные характеристики стены в 1,5-2 раза. После проведения работ класс энергоэффективности здания по расчетам программного комплекса определен, как «В». Срок окупаемости после модернизации ограждающих конструкций здания составит 17 месяцев.

В настоящее время на основе авторского программного комплекса и полученных данных ведутся исследования по разработке способа регулирования теплового режима здания путем дискретной подачи тепловой энергии (регулирование пропусками) для оценки потенциала повышения энергетической эффективности здания.

Библиографический список

- 1. Н.С. Мольков, О.Б. Колибаба, П.А. Шомов.** Методология определения класса энергетической эффективности здания на основе показаний приборов коммерческого учета тепла и электроэнергии – Иваново: Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии», т.2, 2023 с. 312-315.
- 2. Калякин И.Д.** Повышение энергетической эффективности энергоснабжения зданий на основе математического моделирования: автореф. дис. кан. техн. наук. – М.: 2022. – 20 с

*Н.С. Тимонин, студ.; Р.Д. Адакин, асп. (ЯрГАУ);
рук. Д.А. Долинин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ХЛЕБОПЕКАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В сфере производства хлебобулочных изделий наиболее энергоемким оборудованием являются печи. Следовательно, в целях экономии энергоресурсов следует разрабатывать мероприятия по повышению их энергоэффективности.

Существующие хлебопекарные печи являются электрическими. Их достоинствами являются надежность, высокий коэффициент полезного действия, удобство установки и использования устройства. Вместе с тем такие печи характеризуются высокой стоимостью эксплуатации.

Для устранения данного недостатка предлагается заменить в печи конструктивный элемент – трубчатый электронагреватель на теплогенератор [1], работающий на природном газе. Сжигаемый природный газ поступает в теплогенератор и посредством поверхностного теплообмена передает теплоту воздуху, идущему на выпекание хлебобулочных изделий.

В программном комплексе ANSYS разработана математическая модель теплогенератора (рис.1), позволяющая определить температуру воздуха на выходе из теплогенератора, которая в свою очередь является критерием для выпекания качественных хлебобулочных изделий.

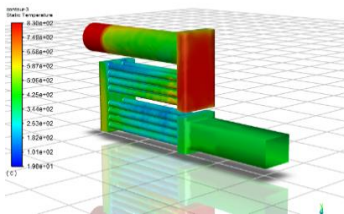


Рис. 1. Температурное поле воздуха и дымовых газов

Данная хлебопекарная печь способна работать с такими же производственными объемами, как и печь, работающая на электричестве, но уже с более низкой стоимостью обслуживания.

Предложенная установка позволяет экономить на энергоносителе до 62% в год.

Библиографический список

1. Адакин, Р.Д. Патент № 161267 Российская Федерация, МПК F24H 3/02(2006.01). Теплогенератор : № 2015113830/03: заявл. 2015.04.14: опубл. 2016.04.20 / Дмитренко В.П., Адакин, Р.Д. // – 5 с.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СУШКИ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАГРЕВА ЛОМА

Нагрев шихты в грузочных бадьях (корзинах) является малозатратным, а также пригодным для всех типов электропечей, не требующих изменений в технологии и организации производства. На рисунке 1 представлено устройство для нагрева лома в грузочной бадье.[1]

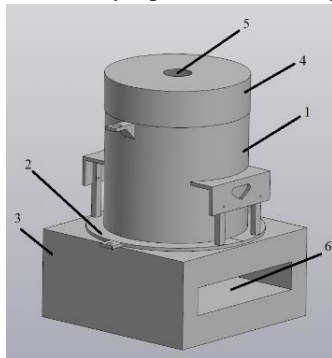


Рис. 1. Модель устройства

Устройство работает следующим образом. В устройство, которое имеет корпус 1 загружают шихту также как и в обычную бадью, но при этом шихта располагается внутри футерованной (теплоизолирующей) вставки. Затем устройство устанавливается с помощью опорного фланца 2 на стенд 3, сверху устанавливают теплоизолированную крышку 4, в отверстие 5 устанавливают радиационную горелку, для сжигания топлива. Продукты горения про-

ходят сквозь слой шихты, створки днища и удаляются через отверстие 6 с помощью

дымососа.

В разработанном устройстве обеспечивается нагрев шихты, загружаемой в плавильные печи для выплавки, стали и чугуна, до температур не выше 600°C, что позволяет снизить расход энергии на плавку не менее чем на 20%.[2]

Ожидаемый экономический эффект для производства двух дуговых сталеплавильных печей емкостью 6 тонн и общей производительностью 1 млн. тонн в год оценивается в 76,5 млн. рублей в год, расчётное значение экономии электроэнергии 8 272 506 кВт*ч в год, что показывает эффективность использования предварительного нагрева шихты.

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. Строгонов К.В., Чаймелов А.А. Моделирование высокотемпературного нагрева лома// Вестник МЭИ 2019. № 6. С. 58 – 63.

*В.В. Юзюк, асп.; В.П. Ерощенко, студ.; рук. М.С. Пурдин, к.т.н.,
доцент (МЭИ, г. Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ИЗОБУТАНОВОЙ ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЫ

В последние десятилетия грунтовые тепловые насосы стали важным компонентом в области энергосбережения и климатической техники. Можно привести примеры проектов по теплоснабжению зданий от грунтовых теплообменников, например, в Сиань [1] или Нюрнберге [2]. Обычно сбор теплоты проводится на основе теплообмена грунта с окружающей средой [3]. В обоих случаях применяются тепловые насосы для отбора теплоты от грунта. Часто теплопередающей способности грунта недостаточно, чтобы получить необходимое количество теплоты. В таких случаях грунт следует рассматривать в качестве аккумулятора теплоты [4]. Также существуют проблемы с выбором оптимального рабочего тела для термодинамического цикла теплового насоса

Целью настоящей работы является исследование эффективности низкопотенциальной двухступенчатой изобутановой теплонасосной системы. Задачами исследования являются: разработка двухступенчатой изобутановой теплонасосной системы, обеспечивающей низкопотенциальную систему отопления, работающую с температурой 25-40 °С, и горячее водоснабжение с температурой 60-75 °С, и расчет коэффициентов трансформации теплоты (КТТ) теплового насоса.

В результате расчетов получено, что КТТ первой ступени теплового насоса, имеющей температуру фреона в испарителе 0 °С и в конденсаторе – 30 °С, с КПД компрессоров 80 % составляет 7,4, а второй ступени, имеющей температуру в конденсаторе 65 °С, – 3,2.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России, гос. задание № FSWF-2023-0017.

Библиографический список

1. Wang Z. et. al. Field test and numerical investigation on the heat transfer ... // Energy Conversion and Management, 2017, Т. 153, С. 603-615.
2. Люо Ж., et. al. Heating and cooling performance analysis of a ground source heat pump system in Southern Germany // Geothermics, 2015, Т. 53, С. 57-66.
3. Пурдин М.С., Магомедова Р. Тепловые притоки и потери в грунтовых теплообменниках и аккумуляторах теплоты // СПРЭТТ (XXII Бенардосовские чтения) : ММНТК, Иваново, 31 мая – 2 июня 2023 года. Иваново: ИГЭУ, 2023. С. 234-237.
4. Пурдин М.С., Цепляева Е.В. Определение значения коэффициента эффективной теплопроводности грунта в пассивном эксперименте // ПЭ, 2022. № 11. С. 50-57.

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

МОДЕЛЬ ПЕРФОРИРОВАННОГО ПОДА ДЛЯ ПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ БАРБОТАЖНОГО ТИПА

Снижение потерь теплоты через ограждения является одной из ключевых задач по снижению расхода энергоресурсов. Рассредоточенная продувка расплава, является наиболее энергоэкономичным и эффективным способом обработки расплава, позволяющая интенсифицировать процессы теплообмена [1]. Кроме этого, организация подачи газового потока через перфорированный под позволяет снизить тепловые потери в окружающую среду [2].

Для исследования теплообмена в перфорированном поду в программном комплексе ANSYS, была создана модель (рис. 1), которая представляет собой куб с равномерно распределенными по её поверхности отверстиями. Эти отверстия позволяют газовым струям проходить через под и контактировать с расплавленным металлом в печи.

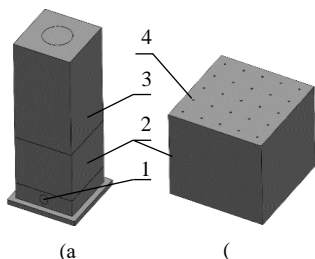


Рис. 1. Модель
а – общий вид; б – перфорированный под.
1 – отверстие для подачи газа, 2 – перфорированный под, 3 – расплав, 4 – отверстия перфорированного пода, через которые подается газ.

Трехмерная модель, спроектирована таким образом, чтобы обеспечить непрерывную подачу газа к расплаву для равномерного распределения температуры по всему объему печи. Размеры модели: высота установки – 500 мм, длина и ширина – 200 мм. Высота пода – 150 мм, отверстия диаметром – 4 мм, расстояние между отверстиями – 40 мм.

По результатам численных исследований можно определять распределение температур перфорированного ограждения и газа в зависимости от скоростей движения, заданных температур расплава и свойств материала, из которого выполнено ограждение.

Модель перфорированного пода в ANSYS представляет собой математическую модель лабораторной физической модели и описывает его геометрию, физические свойства. В качестве пода используется парафин, а в качестве расплава – вода. Результаты анализа математического объекта позволяют оптимизировать конструкцию для дальнейшего ее усовершенствования.

Библиографический список

1. Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах: Учебное пособие для вузов / А.Д. Ключников, В. Н. Кузьмин, С. К. Попов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 176 с.: ил.
2. Нешпоренко Е.Г., Картавец С.В. Вопросы энергоресурсосбережения при извлечении железа из руд: Монография. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007 – 153 с

Ю.Д. Смирнова, магистрант; Сергиенкова А.А., соискатель
рук. Е.В. Гусев, к.т.н. (ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНОЗОЛЬНОГО МАТЕРИАЛА В ПРОЦЕССЕ СУШКИ

В процессе сушки влажных капиллярно-пористых тел при обезвоживании происходят усадочные изменения, приводящие к уплотнению и упрочнению высушиваемого материала. Одними из важных технологическим характеристик высушенных материалов, позволяющих оценить их структурно-деформационные изменения, являются их средняя плотность и объемная усадка [1].

С этой целью изготавливались глинозольные образцы (толщиной 10мм) переменного вещественного состава (глина:зола) с формовочной влажностью 20% способом жесткого пластического прессования при различных удельных нагрузках (15-30 МПа) со скоростью 2 мм/с и временной выдержкой 15 с. Процесс конвективной сушки в сушильной камере производился при температуре 105°C до полного обезвоживания исследуемых образцов.

В результате определения линейных размеров и масс высушенных образцов были установлены зависимости плотностей и объемной усадки глинозольного материала различного вещественного состава от разной степени уплотнения (рис.1).

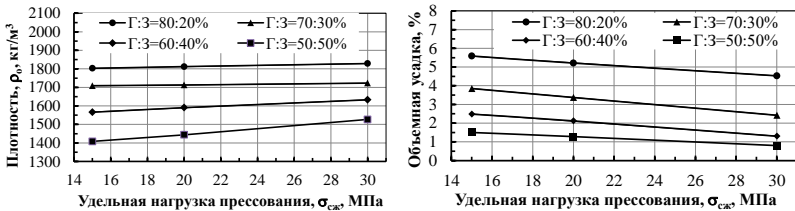


Рис.1 Зависимости плотностей и объемной усадки глинозольного материала различного состава от удельной нагрузки прессования

Полученные данные свидетельствуют, что в процессе сушки плотность и усадка глинозольного материала различного состава снижаются с увеличением содержания золы и необходимы для расчета удельных тепловых и массопроводных потоков при сушке глинозольных изделий различной плотности.

Библиографический список

1. Лыков А.В. Теория сушки. М.: Энергия, 1968. 472 с.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ГАЗА ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛОГО ДОМА

Сегодня во всем мире остро стоит вопрос загрязнения окружающей среды отходами производства и потребления. Отходы, при их бесконтрольном размещении на свалках, негативно воздействуют на окружающую среду, являясь источником поступления вредных химических и биологических веществ в грунтовые и поверхностные воды, атмосферный воздух и почву, создавая угрозу здоровью и жизни населения. В этой связи возникает необходимость в их переработке.

Существует ряд технологий переработки твердых коммунальных отходов (ТКО): анаэробное сбраживание, сжигание и термическая деструкция (пиролиз и газификация). Пиролиз является эффективным способом переработки отходов, позволяющим получить готовый товарный продукт – горючий газ. В пиролизных печах отходы преобразуются в газообразное топливо, которое используется на собственные нужды установки и отводится потребителям. Потребителями искусственного газа могут быть теплогенерирующие установки систем автономного теплоснабжения.

Главным требованием к выбору источника автономного теплоснабжения является обеспечение независимости от централизованных систем теплоснабжения, повышение надежности и эффективности системы обогрева, а также снижение эксплуатационных затрат.

В качестве источника автономного теплоснабжения предлагается пиролизная шахтная печь [1], в которой ТКО перерабатываются в топливный газ. Потребителем, в нашем случае, является 2-этажное жилое здание, прямоугольного в плане сечения, для которого балансовым методом были определены расчетные тепловые нагрузки на отопление и горячее водоснабжение. Отопительная нагрузка составила 7,7 кВт, нагрузка на горячее водоснабжение составила 1,1 кВт. На основе тепловой нагрузки рассмотрен вариант энергообеспечения здания при помощи котлов, оборудованных горелками типа ВНК – 16ВА2, работающими на пиролизном газе.

Библиографический список

1. Горинев О.И., Колибаба О.Б., Долинин Д.А., Габитов Р.Н., Самышина О.В., Скворцов И.А. Патент РФ №2645029 Установка для термического разложения несортированных твердых органических отходов. Оpubл.: 15.02.2018, Бюл. №5.

*М.М. Чижикова, студ.;
рук. О.Б. Колибаба, (доцент, к.т.н)
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СЛОЯ ТКО

Для расчета процесса тепломассообмена требуется знать теплофизические свойства, с этой целью была разработана программа, которая предназначена для решения задач тепломассообмена в пиролизной печи для переработки твердых коммунальных отходов. Программа позволяет рассчитать эффективный коэффициент теплопроводности пористого слоя твердых коммунальных отходов в процессе его переработки с учетом влажности.

Слой ТКО заменили его моделью – единым условным изотропным пористым телом, который характеризуется порозностью (пористостью это отношением объема пор к общему объему пористого тела). Перенос теплоты в теле осуществляется теплопроводность по твердому «скелету» конвекцией и излучением в порах.

В качестве модели твердого «скелета» принята модель многокомпонентной смеси с вкраплениями.

В данной работе из многокомпонентной смеси выбрали три компонента с наибольшим процентным содержанием: бумага, пищевые отходы (картофель) и текстиль, поскольку увеличение числа компонентов в смеси для расчета сильно усложняются и становятся малопригодными для практических целей. Данная работа позволила определить зависимости эффективных коэффициентов теплопроводности от температуры и влажности с помощью математической модели тепломассообмена в процессе пиролиза слоя ТКО, что позволила решить поставленную задачу.

Библиографический список

1. **Белов С.В.** Пористые металлы в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1981. – 248 с
2. **Васильев Л.Л., Танаева С.А.** Теплофизические свойства пористых материалов. – Минск: Наука и техника, 1971. – 268 с.

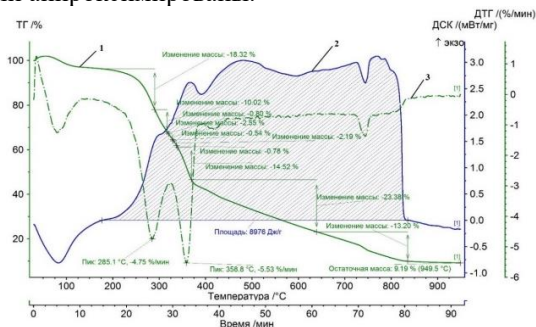
С.Э. Шавадзе, студ.;

рук. О.Б. Колибаба, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ В ПРОЦЕССЕ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ

Термическая переработка твердых коммунальных отходов осуществляется чаще всего в специальных печах шахтного типа – термических реакторах, в которых слой ТКО последовательно проходит процессы сушки и пиролиза с последующей газификацией твердого углеродистого остатка [1]. Образующееся в процессе переработки газообразное топливо отводится потребителю.

В процессе переработки ТКО изменяются их характеристики: коэффициент теплопроводности, средняя удельная теплоемкость, плотность и порозность. В процессе пиролиза происходит деструкция, то есть изменяются физические составляющие, в результате чего образуется уголь. В основу исследования легли экспериментальные данные из термограмметрии (рис.1). Также расчетные исследования выполнены с использованием известных формул, при этом учитывалось изменение порозности и физического состояния ТКО. Весь процесс нагрева был разбит на характерные интервалы и в пределах каждого были проведены расчеты. Полученные результаты были аппроксимированы.



1 – термогравиметрическая кривая (ТГ); 2 – кривая дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК); 3 – кривая дифференциальной термогравиметрии (ДТГ)

Рис.1. Результаты термического анализа смеси ТКО при скорости нагрева 10 °С/мин

Библиографический список

1. Горинев О.И., Колибаба О.Б., Долинин Д.А., Габитов Р.Н., Самышина О.В., Скворцов И.А. Патент РФ №2645029 Установка для термического разложения несортированных твердых органических отходов. Оpubл.: 15.02.2018, Бюл. №5.

*М.П. Белоус, В.В. Малышев, И.А. Морев, студ.;
рук. Д.А. Долинин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

О ВЛИЯНИИ ПОРИЗАЦИИ НА СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННОЙ КЕРАМИКИ

В работе [1] предложено использование продуктов пиролизной переработки твердых коммунальных отходов в технологии производства керамических материалов. В качестве структурофазообразующей добавки используется твердый остаток пиролиза смеси ТКО среднего морфологического состава.

Для улучшения теплофизических свойств модифицированной керамики может применяться поризация. Создание пористой структуры материала было выполнено на стадии приготовления массы с последующим обжигом в электропечи. В качестве выгорающей добавки использовались древесные опилки. Были изготовлены три партии изделий с добавлением 5, 7 и 10% масс. опилок в керамическую массу.

На рис. 1 представлены данные о средней плотности полученной поризованной керамики и аналогичной керамики без поризации.

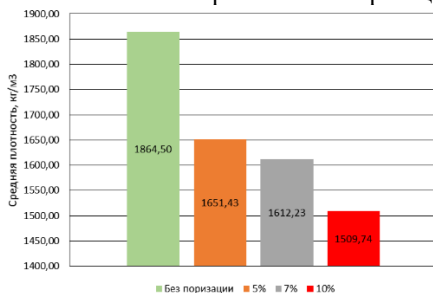


Рис. 1. Средняя плотность модифицированной керамики

Уменьшение средней плотности изделий приводит к улучшению теплофизических свойств. Применение поризации позволит обеспечить получение керамических изделий требуемого качества. Полученный керамический материал предполагается использовать в технологии производства строительных изделий различного назначения.

Библиографический список

1. Колибаба, О.Б. Исследование физических свойств керамического материала, полученного с использованием твердого остатка пиролиза коммунальных отходов / О.Б. Колибаба, Д.А. Долинин, Е.В. Гусев, А.А. Малов // Энергосбережение - теория и практика: тр. X Международной школы-семинара молодых ученых и специалистов, г. Москва, 19–23 октября 2020 г. – Курск: Изд. ЗАО Университетская книга, 2020. – С.53 – 58.

*Д.А. Монахов, студ.;
рук. О.И. Горинов, доц., к.т.н.
(ИГЭУ, Иваново)*

ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ТОПЛИВА СПОСОБОМ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТКО

Уничтожение ТКО является актуальной проблемой во всем мире. Количество ТКО с каждым годом возрастает на сотни миллионов тонн, представляя экономическую угрозу. Существующие методы их уничтожения или не эффективны или вторичные еще более вредные отходы и выбросы.

Представляется перспективным методом – переработка ТКО термическим способом, процессами пиролиза и газификации, которые являются энергоэффективными, поскольку получаемое при этом газообразное топливо частично используется на сами процессы.

Схема процесса термопереработки представлена на рис.1

Установка по термической переработке ТКО носит название терморектора (патент №2700614)[1], а производимый в ней горючий газ – термогаз.

В терморекторе осуществляются одновременно процессы пиролиза и газификации. Процесс пиролиза происходит при температуре 200-500°C, Получаемый при этом природный газ состоит из компонентов: H_2 ; CO ;

CH_4 ; CO_2 ; H_2O и ТУО. ТУО – твердый углеродистый остаток, газифицируется при температуре 950-1100°C в атмосфере газифицирующихся агентов CO_2 и H_2O пиролизного газа и продуктов горения. Термогаз, состоящий из пиролизного газа и газа газификации, имеющий теплотворную способность $Q=12-15$ МДж / m^3 является энергетическим топливом и отправляется потребителю.

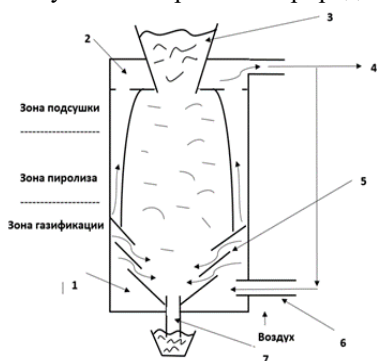


Рис.1 Схема терморектора. 1.Камера горения; 2. Коллектор для сбора термогаза; 3. Загрузочный бункер; 4. Термогаз; 5. Колосниковая решетка; 6. Горелка; 7. Золоудаление.

Библиографический список

1. Долинин Д.А., Горинов О.И., Самышина О.В., Колибаба О.Б., Семенов А.С. Патент РФ 2700614 Установка для переработки ТКО // Оpubл.: 18.09.2019.

В.А. Бушуев, студ.;
 рук. О.И. Горинов, доц., к.т.н.
 (ИГЭУ, Иваново)

ЛУЧИСТО-КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛОБМЕН В РАДИАЦИОННЫХ РЕКУПЕРАТОРАХ

Радиационный рекуператор является сложной системой лучисто-конвективного теплообмена, которую можно схематично представить на рис.1 на примере щелевого радиационного рекуператора.

Основной задачей расчета щелевых радиационных теплообменников [1] является определение температуры подогреваемого воздуха и температуры стенки со стороны греющего теплоносителя, чаще всего которым является продукты горения. При этом теплоотдача к воздуху конвекцией учитывается только от стенки со стороны греющего теплоносителя. Но поскольку противоположная стенка участвует в теплообмене, то это обстоятельство необходимо учитывать. На рис.1 представлена расчетная схема теплообмена в системе греющего и подогреваемого теплоносителя.

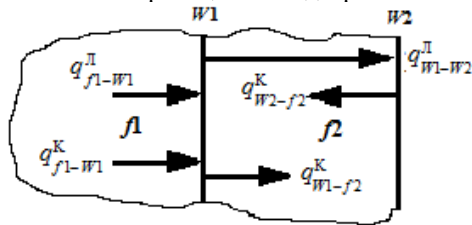


Рис.1 Расчетная схема лучисто-конвективного теплообмена

Принято: стенка W1-термически тонкое тело; стенка W2-адиабата.

Приведенное равенство представляется в виде

$$A \left(\frac{T_{W2}}{T_0} \right)^4 + \frac{T_{W2}}{T_0} - 1 = 0. \text{ А и } T_0 \text{ вспомогательные величины, получены}$$

после математических преобразований и имеют вид

$$T_0 = \frac{\sigma_{W1-W2}}{\alpha_{W2-f2}} \left(\frac{T_{W1}}{100} \right)^4 + T_{f2} \text{ и } A = \frac{\sigma_{W1-W2}}{100\alpha_{W2-f2}} \left(\frac{T_0}{100} \right)^3. \text{ Где } \sigma_{W1-W2} -$$

приведенный коэффициент излучения в системе W1-W2; $\alpha_{W2-f2} -$

коэффициент конвективной теплоотдачи от стенки W2 к нагреваемому потоку f2; T_{W1} и T_{W2} температуры стенок W1 и W2 соответственно.

*А.Н. Савельев, студ.; рук. В.Ю. Пронин, к.т.н., доц.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КОНТУРА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОРГАНОВ ПАРОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТУРБИНЫ

Гидравлическая система регулирования турбины К-1000-60/3000 используется на энергоблоках с реакторами ВВЭР-1000.

Во время эксплуатации энергоблока неоднократно наблюдались незатухающие колебательные перемещения органов парораспределения, что приводило к вынужденным остановам турбогенератора и простой энергоблока, а в последствие за этим, колоссальные экономические и финансовые убытки.

Из выводов отчетов о расследовании следует, что контур позиционирования органов парораспределения реализован с недостаточным запасом устойчивости.

Одним из ключевых направлений работы является разработка систем автоматического регулирования и защиты турбин (САРЗ) с применением электромеханических преобразователей (ЭМП). Предлагаются два этапа модернизации.

1. Модернизация гидравлической части:

Доработка ОЗ, предусматривающая внедрение ЭМП, устанавливаемых непосредственно на ОЗ, как следствие исключение из работы и демонтаж ЭПП-С.

Доработка гидравлической части, учитывающая внедрение ЭМП и направленное на значительное сокращение существующих гидравлических линий связи, в частности исключение линий управления ЭПП-С.

2. Модернизация электрической части:

Внедрение двухканальной САРЗ производства АО «Диаконт», имеющей положительный опыт применения на 20 турбинах.

Внедрение стационарной системы диагностики, обеспечивающей требуемый уровень диагностики и периодичность фиксации параметров.

Библиографический список

1. Типовой технологический регламент безопасной эксплуатации энергоблоков АЭС с реактором ВВЭР-1000 (В-320), ТРВ-1000-4, ВНИИАЭС, 1998 г.
2. «Турбины для атомных электростанций» Б.М. Трояновский М. Энергия 1973 г.

СЕКЦИЯ 11
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
В ТЕХНОСФЕРЕ

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

Секретарь –
студент **Чистякова Е.Е.**

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

ПРОЕКТ ПОЛУЧЕНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ КОМПОНЕНТОВ ДИССОЦИАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

Проект нацелен на разработку установки для получения компонентов диссоциации углекислого газа и дальнейшей реализации полученных компонентов (кислорода O_2 , углекислого газа CO_2 , углерода C , угарного газа CO) для нужд различных отраслей. Реализация проекта также позволит улучшить экологическую обстановку в районе работы установки.

Актуальность проекта обусловлена существующим на рынке спросом на получаемые газы, а также реализацией мероприятий охраны окружающей среды.

Проект предусматривает разработку установки в следующем составе: плазмохимический реактор; импульсный высоковольтный источник питания напряжением до 150 кВ с длительностью импульса тока от 0,5 до 1 мкс и с частотой повторения до 100 Гц; система предварительной откачки и напуска рабочего газа; измерительно-диагностический комплекс. Реактор представляет собой цилиндрическую трубу из нержавеющей стали длиной 1300 мм с внутренним диаметром 115 мм, по оси которой между двумя изоляторами устанавливаются внутренние электроды различной формы и размера.

Предполагается размещение установки для получения компонентов диссоциации углекислого газа в районе его наибольшего скопления, т.е. непосредственно в месте, где имеются значительные выбросы дымовых и выхлопных газов. Тем самым обеспечивается уменьшение содержания диоксида углерода в данной местности и получение продуктов его диссоциации.

Потребителями полученных газов (кислорода O_2 , углекислого газа CO_2 , углерода C , угарного газа CO) являются производственные компании химического, стекольного, цементного производства; производители газового оборудования; медицинские учреждения; производители осветительного оборудования и др.

Реализации проекта способствуют такие факторы как незначительная конкуренция на рынке и повышенный спрос на газы.

Рентабельность проекта обосновывается высокой стоимостью газов и относительно небольшими затратами на их производство. При этом реализуются экологически безопасные процессы.

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

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ УТИЛИЗАЦИИ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТИ

Проект системы контроля утилизации бытовых отходов предполагает разработку программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего контроль определенной территории с целью фиксации и дальнейшего предотвращения её загрязнения бытовыми отходами.

Основным элементом разрабатываемой системы является программный продукт на основе нейросети, который позволяет в автоматическом режиме собирать данные с установленных камер видеонаблюдения, анализировать полученные данные нейросетью и фиксировать нарушения, связанные с загрязнением городской среды.

Актуальность проекта связана с важностью задач по снижению антропогенного воздействия, сокращению объёмов накопления промышленных и бытовых отходов на улицах городов, улучшению экологической обстановки.

В программном продукте задачу распознавания видео в реальном времени предлагается решать с помощью свёрточной нейронной сети или её комбинацией с рекуррентной нейронной сетью для анализа последовательности кадров.

Для обучения нейросети предлагается использовать библиотеку глубокого машинного обучения (TensorFlow), разработанную и поддерживаемую Google. TensorFlow является системой машинного обучения, которая может работать на многих параллельных процессорах, опираясь на архитектуру CUDA для поддержки вычислений общего назначения на графических процессорах. Вычисления TensorFlow выражаются в виде потоков данных через граф состояний. Для обеспечения взаимодействия с нейронными сетями предлагается использовать библиотеку Keras.

Внедрение системы позволит в автоматическом режиме обнаруживать и фиксировать факты нарушений, формировать рекомендации по выставлению штрафов нарушителям, информировать о последствиях таких нарушений с целью исключения случаев загрязнения бытовыми отходами городской среды.

Масштаб контролируемой территории будет определяться сетью установленных видеочкамер, количество которых в городах только растёт.

М.Д. Гусева, А.С. Силантьева, А.М. Сидорова, студ.;
рук. Ю.Ю. Рогожников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Информационная система обеспечения пожарной безопасности на предприятии («ИС ПБ») представляет собой программный продукт, нацеленный на автоматизацию деятельности в области обеспечения пожарной безопасности предприятия.

Актуальность разработки и внедрения «ИС ПБ» обусловлена необходимостью эффективного контроля состояния пожарной техники и проведения профилактических противопожарных мероприятий на предприятиях.

Разработка компьютерной системы «ИС ПБ» предполагает автоматизированное выполнение следующих процессов: учет объектов защиты, пожарной техники, систем защиты, договоров с пожарной охраной; назначение лиц, ответственных за пожарную безопасность, формирование пожарно-технической комиссии; подготовка декларации пожарной безопасности и расчет пожарного риска; учет срабатываний, отключения систем пожарной автоматики; расследование пожаров и возгораний; учет, планирование и подготовка к проведению различных видов учебных, инструктажей и тренировок по пожарной безопасности; оформление необходимой документации; контроль исполнения предписаний и мероприятий; регистрация фактов нарушения требований пожарной безопасности; учет технического обслуживания и планово-предупредительных ремонтов систем пожарной автоматики; контроль сроков технического обслуживания средств пожаротушения; учёт затрат на обеспечение пожарной безопасности; формирование аналитической и статистической отчетности. Инновационное развитие системы предполагается в направлении прогнозирования рисков возникновения пожаров на предприятии. Реализация программного продукта «ИС ПБ» предполагается на базе программного комплекса «Диагностика+», который разработан в Ивановском государственном энергетическом университете (ИГЭУ). Взаимодействие пользователей с системой осуществляется посредством веб-браузера.

Внедрение системы предполагается на промышленных предприятиях в целях автоматизирования функций охраны труда и пожарной безопасности. Возможно, использование системы для образовательных организаций в учебных целях.

Е.С. Логашова, А.А. Сергеев, К.В. Сироткина студ.;
рук. Ю.Ю. Рогожников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА ПЕРСОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

Проект по разработке персональных геолокационных устройств представляет собой создание системы мониторинга и контроля безопасности работника на предприятии. В состав системы входит информационное персональное устройство и компьютерная программа.

Актуальность разработки связана с необходимостью обеспечения контроля физических показателей и безопасности работников на вредных и опасных производствах.

В рамках проекта разрабатывается специальное устройство (наподобие фитнес-браслета), которое будет носиться работником на опасном производстве. Предполагается оснащение устройства датчиками, которые собирают информацию о здоровье пользователя: пульс, давление, уровень кислорода в крови, температура тела. Также предусматривается возможность информирования работника на наручное устройство через центральный пульт управления. В устройство внедряется функция «SOS», которая позволит работнику сообщить на центральный пульт управления о каком-либо происшествии или несчастном случае. Предполагается оснащение устройства GPS (ГЛОНАСС) для контроля местонахождения работника. Также проект предусматривает разработку компьютерной программы (системы мониторинга) для обработки сигналов с персональных геолокационных устройств работников, считывания местности предприятия, предупреждения работников о приближении к опасным зонам. Система мониторинга будет обладать возможностью считывания и обработки информации, поступающей не только с персональных устройств работников, но и с датчиков, установленных на территории предприятия и транслирующих информацию в систему. Установленные датчики (приборы) могут передавать сигналы с данными об уровнях звукового давления, напряженности электрического поля и др. Развитие системы предполагает автоматическое генерирование предупреждений работникам и поддержку принятия решений по предотвращению возникновения несчастных случаев на производстве. Внедрение системы предполагается на промышленных предприятиях с наличием опасных факторов и высоким уровнем профессионального риска.

А.В. Кобенда, Д.Л. Сироткин студ.;
рук. Ю.Ю. Рогожников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

СИСТЕМА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Под системой расчета параметров чрезвычайных ситуаций подразумевается компьютерная программа расчета параметров для оценки воздействия чрезвычайной ситуации (ЧС) на человека и окружающую среду. Анализ рассчитанных параметров ЧС позволяет сформулировать вывод о возможных последствиях ЧС. Например, рассчитываются параметры таких техногенных ЧС как взрыв, пожар, химическая авария, радиационная авария. Развитие системы предполагает расчет параметров других ЧС, например, наводнения для оценки воздействия катастрофического затопления местности.

Текущая версия системы реализована в форме телеграм-бота (программы внутри мессенджера Telegram), написанного на языке Python с подключенной библиотекой Aiogram. В базу данных SQLite3 автоматически сохраняются расчёты пользователя. Телеграм-бот обладает следующими преимуществами: удобство использования (может быть запущен из мессенджера), доступная цена, мобильность, быстрота реакции, возможность интеграции с другими сервисами. Библиотека Aiogram позволяет создавать боты на языке программирования Python и обладает следующими преимуществами: понятный интерфейс, широкий функционал, поддержка асинхронного программирования, открытый исходный код, совместимость с другими библиотеками. При работе с телеграм-ботом (программой) пользователь может выбрать чрезвычайную ситуацию, параметры которой необходимо рассчитать. Далее пользователь вводит исходные данные для расчета. Например, для расчета параметров оценки воздействия на человека техногенного взрыва сосуда под давлением с нереагирующим газом, вводятся следующие величины: диаметр и длина цилиндрического резервуара с газом; показатель адиабаты для газа в резервуаре до взрыва; избыточное давление сжатого газа в резервуаре в момент взрыва; плотность газа при нормальных условиях; температура воздуха; коэффициент перехода; расстояние от центра взрывной системы до приёмника. Рассчитанными значениями параметров в данном случае являются следующие: избыточное давление на фронте ударной волны; удельный положительный импульс; импульс фазы сжатия и др. На основе рассчитанных параметров строится вывод о последствиях ЧС.

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

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОНОМНЫХ РОБОТОВ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ОСОБО ОПАСНЫХ РАБОТ

Проведение особо опасных работ сопряжено с высоким риском тяжёлого травматизма и смертельных несчастных случаев. Развитие робототехники позволяет в настоящее время использовать автономных роботов при выполнении данных видов работ и тем самым существенно снижать существующие риски [1].

Целью исследования было изучение потенциала интеграции автономных роботов в производственный процесс.

В ходе исследования установлены основные особенности функционирования автономных роботов:

- самостоятельное принятие решений реализовано на базе нейросетевых алгоритмов при поддержке системы компьютерного зрения;
- выполняемые действия характеризуются высокой точностью, воспроизводимостью результата и общей надёжностью;
- хорошей переносимостью неблагоприятных условий окружающей среды и микроклимата.

Однако существует и ряд открытых вопросов, порождающих дискуссию об использовании автономных роботов [2]:

- система принятия решений может давать сбои, а значит, полностью исключить человека из производственного процесса вряд ли получится;
- существуют этические, моральные и социальные вопросы, связанные с использованием роботов;
- юридическая ответственность за жизнь и здоровье людей при возможных несчастных случаях.

Таким образом, очевидно, что успешная интеграция требует комплексного подхода, включающего в себя учёт не только технических, но и гуманитарных аспектов.

Библиографический список

1. Пенский О.Г. Роботы и человек // Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. — 2020. — № 3. — С. 50-55.
2. Бирюков П.Н. Ответственность за вред, причиненный технологиями с искусственным интеллектом: подход Европейского союза // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. — 2020. — № 4. — С. 39-49.

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

ИНТЕГРИРОВАНИЕ VR – ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕСС ОБУЧЕНИЯ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

В современном мире, где технологический прогресс идет стремительными темпами, мы сталкиваемся с возросшим спросом на новые методы обучения. Виртуальная реальность (VR) – одна из тех инновационных технологий, которая предоставляет уникальные возможности в области обучения.

Целью исследования было изучение потенциала интеграции технологий виртуальной реальности в процессе обучения молодых специалистов.

В ходе исследования было обнаружено, что использование VR в образовании имеет множество положительных особенностей.

Во-первых, возможность создания виртуальных образовательных сред, где студенты могут погружаться в реальные сценарии и симуляции, повышает учебный интерес и эффективность обучения.

Во-вторых, VR позволяет безопасно отрабатывать возможные опасные и сложные ситуации, что особенно важно при обучении молодых специалистов в медицинских, технических и других отраслях.

Однако, несмотря на все преимущества, интеграция VR в образовательный процесс сталкивается с рядом вызовов, включая высокие затраты на оборудование, необходимость специальной подготовки преподавателей и ограниченную доступность контента.

Проведённое исследование показало, что успешная интеграция VR – технологий в обучение молодых специалистов требует комплексного подхода в технической и педагогической областях.

Несмотря на высокую сложность и ресурсоёмкость внедрения данного подхода, прогнозируемый результат принесёт значительные выгоды работодателю, сотруднику и образовательному учреждению.

Библиографический список

1. Шилов Е.К. VR-Технологии в профессиональном образовании. – URL: https://elar.rsvpu.ru/bitstream/123456789/41601/1/978-5-91256-5601_2022_045.pdf(дата обр. 09.02.2024)
2. Краюшкин Н., Виртуальная реальность в образовании. –URL: <https://hsbi.hse.ru/articles/virtualnaya-realnost-v-obrazovanii>(дата обр. 10.02.2024)

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

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПассаЖИРОВ И РАБОТНИКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Пассажирские железнодорожные перевозки являются одним из самых массовых видов транспорта в нашей стране. Ежегодно им пользуется более одного миллиона человек [1].

Типичный пассажирский состав из 15-20 вагонов обладает массой более 1200 тонн, что определяет его существенную энергоёмкость. Следствием данного факта являются значительное воздействие физических факторов на пассажиров и работников поезда [2].

В работе рассмотрены особенности воздействия таких основных физических факторов, как шум, вибрация и силы инерции, возникающих при неравномерном движении состава [3].

В качестве главных направлений снижения негативного воздействия выявленных факторов предложены следующие мероприятия:

- применение бесстыкового пути и шлифовка рельс;
- изменение режима движения локомотива, предполагающее большую равномерность перемещения;
- нанесение слоя алюминия на тормозные диски с целью снижения уровня звука при торможении;
- обточка бандажей поверхности колесных пар;
- внедрение инновационных подвижных составов, использующих технологию магнитной левитации.

Внедрение предложенных мер позволит снизить воздействие шума, вибрации и сил инерции на пассажиров и работников поезда.

Библиографический список

- 1. Капцов В.А., Дейнего В.Н.** Синий свет светодиодов - новая гигиеническая проблема // Анализ риска здоровью. 2016. №1 (13). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/siniy-svet-svetodiodov-novaya-gigienicheskaya-problema> (дата обращения: 12.04.2023).
- 2. Кондрашин А.С., Ашрятов А.А.** Поиск путей снижения негативного воздействия синей полосы в спектре излучения белого светодиода на орган зрения. В сборнике: XLVI Огарёвские чтения. Материалы научной конференции: В 3-х частях. Ответственный за выпуск П.В. Сенин. 2018. С. 326-330.

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

ОПАСНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ГАЗОРЕГУЛЯТОРНОГО ПУНКТА

Газорегуляторный пункт (ГРП) является компонентом системы газоснабжения, редуцирующим величину давления природного газа. Предохранительные устройства ГРП, в частности предохранительный запорный клапан (ПЗК), способствуют выполнению его функции с соблюдением требований охраны труда. Федеральная служба по труду и занятости утвердила проверочный лист для осуществления федерального государственного контроля (надзора) за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, по созданию и обеспечению функционирования системы управления охраной труда [1]. В списке контрольных вопросов находятся следующие:

1. При обеспечении функционирования системы управления охраной труда работодателем проводятся системные мероприятия по управлению профессиональными рисками на рабочих местах, связанные с выявлением опасностей, оценкой и снижением уровней профессиональных рисков?
2. Выявление опасностей осуществляется путем обнаружения, распознавания и описания опасностей, включая их источники, условия возникновения и потенциальные последствия при управлении профессиональными рисками?

Задача выявления опасностей при эксплуатации предохранительного запорного клапана ГРП состоит в следующем:

- 1) изучение конструкции ПЗК и его составляющих с обозначением целесообразных, сопутствующих и возможных процессов и событий;
- 2) определение составляющих ПЗК, отказ которых может приводить к его разгерметизации и утечке природного газа в воздушный массив помещения с образованием взрывоопасной смеси;
- 3) исследование процессов и событий, приводящих к взрывному воздействию и его предотвращению.

Библиографический список

1. Об утверждении форм проверочных листов (списков контрольных вопросов) для осуществления федерального государственного контроля (надзора) за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права [Электронный ресурс] / пр. Роструда №20 от 01.02.22 г. Режим доступа: <http://rostrud.gov.ru/rostrud/dokumenty/npa/>. – (Дата обращения: 15.04.2024).

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

ОПАСНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИЛОВОГО МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДСТАНЦИИ

Электрическая подстанция является основным компонентом системы электроснабжения, принимающим, преобразующим и распределяющим электрическую энергию. Силовой масляный трансформатор подстанции, способствуют выполнению её функции с соблюдением требований охраны труда. Федеральная служба по труду и занятости утвердила проверочный лист для осуществления федерального государственного контроля (надзора) за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, по созданию и обеспечению функционирования системы управления охраной труда [1]. В списке контрольных вопросов находится следующие:

1. При обеспечении функционирования системы управления охраной труда работодателем проводятся системные мероприятия по управлению профессиональными рисками на рабочих местах, связанные с выявлением опасностей, оценкой и снижением уровней профессиональных рисков?
2. Выявление опасностей осуществляется путем обнаружения, распознавания и описания опасностей, включая их источники, условия возникновения и потенциальные последствия при управлении профессиональными рисками?

Решаемая задача выявления опасностей при эксплуатации силового масляного трансформатора состоит в следующем:

- 1) изучение конструкции трансформатора с обозначением целесообразных, сопутствующих и возможных процессов и событий;
- 2) определение составляющих трансформатора, отказ которых может приводить к его разгерметизации и утечке масла во внешнюю среду с образованием пожароопасной смеси;
- 3) исследование процессов и событий, приводящих к пожарному воздействию и его предотвращению.

Библиографический список

1. Об утверждении форм проверочных листов (списков контрольных вопросов) для осуществления федерального государственного контроля (надзора) за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права [Электронный ресурс] / пр. Роструда №20 от 01.02.22 г. Режим доступа: <http://rostrud.gov.ru/rostrud/dokumenty/npa/>. – (Дата обращения: 15.04.2024).

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

ВАРИОФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И СОБЫТИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДА ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ ОТОПИТЕЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ

Федеральный закон «Трудовой кодекс Российской Федерации» [1] в 218 статье «Профессиональные риски» предусматривает следующее: «Выявление опасностей осуществляется путем 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, в том числе опасного термоконтатного.

Трубопровод горячей воды является компонентом отопительной котельной, передающим 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.

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

- 1) изучение конструкции трубопровода и его компонентов с обозначением детерминированных целесообразных и сопутствующих, 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 термоконтатного 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](http://docs.cntd.ru/document/901807664). – (Дата обращения: 15.04.2024).

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

ВАРИОФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И СОБЫТИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕГУЛЯТОРА ДАВЛЕНИЯ ПУНКТА РЕДУЦИРОВАНИЯ ГАЗА

Федеральный закон «Трудовой кодекс Российской Федерации» [1] в 218 статье предусматривает следующее: выявление опасностей осуществляется путем 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 вещественно-энергетические процессы опасного техногенного воздействия.

Регулятор давления является основным компонентом пункта редуцирования, снижающим давление до необходимого значения и поддерживающим его на постоянном уровне при переменном расходе газа. Детерминированные и стохастические процессы в компонентах регулятора давления могут приводить к технетическому происшествию, состоящему в его разгерметизации, вызывающей процесс утечки природного газа в воздушный массив помещения.

Задача вариофикации процессов и событий при эксплуатации регулятора давления состоит в следующем:

- 1) изучение конструкции регулятора давления и его компонентов с обозначением детерминированных целесообразных и сопутствующих, стохастических процессов и событий;
- 2) составления последовательности процессов, событий и условий их совместности, приводящих к техногенному происшествию «Возникновение ударной волны дефлаграционного взрыва» и его предотвращающих;
- 3) визуализация вариофикационной модели с графическим представлением процессов, событий и условий их совместности;
- 4) исследование с помощью вариофикационной модели профессионального риска.

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: 15.04.2024).

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

ПРОИЗВОДСТВО ЭКО-РУБАШЕК ИЗ ЛЬНА И КОНОПЛИ

Данный проект реализует производство рубашек из эко-материалов – конопли и льна. Рубашки будут отшиваться по индивидуальным размерам клиента, то есть будет осуществляться онлайн-примерка вещи и заказа её пошива по своим меркам.

Научно-техническим решением является создание и развитие платформы (маркетплейс заказа инд. пошива), с помощью которой будет осуществляться онлайн-примерка вещи и заказ её пошива по своим меркам (2D – бесплатно, 3D – в рго-аккаунте), после чего будут отшиваться рубашки по индивидуальным размерам клиента. Предлагается использовать в пошиве эко-рубашек ткани из тонкой смесовой пряжи, полученной с применением передовой технологии изготовления волокна методом механической котонизации из отходов переработки конопли и льна с добавлением хлопка (45 % льна (конопли), 55 % хлопка).

Поскольку ткань для изготовления эко-рубашек имеет гипоаллергенные свойства, то изготовленный из нее продукт решает проблему потребителей, проявляющих аллергические реакции на одежду из тканей, включающих синтетические волокна. Также одежда, сшитая по данной технологии, будет подходить клиентам с нестандартной фигурой, поскольку 59,9% людей недовольны вещами, выполненными по стандартным меркам. И самое главное – решается проблема утилизации отходов, поскольку происходит использование смесовой ткани, состоящей из волокон, получаемых из отходов переработки льна и конопли.

Таким образом, приобретая в свой гардероб эко-одежду, отшитую по индивидуальным меркам, потребитель решает проблему экологии и проблеме с размером, из-за которой вещи часто идут на выброс.

Библиографический список

1. Самые экологичные устойчивые ткани. <https://www.hzcork.com/ru/the-most-sustainable-fabrics/>

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

ВЛИЯНИЕ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ

В условиях общепита, где кулинарные процессы происходят в больших объемах, использование газового оборудования на метане запрещено [1], [2]. Также стоит отметить, что в 2023 году МЧС России введен запрет на установку газоиспользующего оборудования в зданиях образовательных организаций, специализированных домах престарелых и больницах. Кроме этого, ограничено применение газового оборудования в многоквартирных жилых и общественных зданиях свыше 28 метров. [3].

Таким образом, запрет на использование газового оборудования на кухне обусловлен соображениями безопасности и санитарных норм, поэтому, в общепите чаще всего используются индукционные плиты. Однако вблизи варочной панели индукционной плиты создается переменное сверхвысокочастотное электромагнитное поле рассеяния (СВЧ ЭМП), которое не захватывается индукцией в посуде, это происходит, когда диаметр посуды меньше диаметра конфорки. Если к кастрюле прикоснется человек, то через его тело может проходить слабый ток [4].

Длительное воздействие СВЧ ЭМП может привести к нарушениям работы сердечно-сосудистой системы, нарушениям работы нервной системы, изменениям в работе многих органов и тканей организма, а также к развитию различных патологий и заболеваний. Для женского пола есть ряд особенностей в воздействии высокочастотных электромагнитных полей, которые влияют на репродуктивное здоровье, гормональный баланс, сон и психическое здоровье [5].

Библиографический список

1. ГОСТ Р 55211-2012 (ЕН 203-1:2005) «Оборудование газовое нагревательное для предприятий общественного питания»
2. <https://ria.ru/20120110/536372728.html>
3. <https://tass.ru/obschestvo/19231487>
4. Аполлонский С.М. Электромагнитные поля в общей проблеме безопасности жизнедеятельности человека // Безопасность жизнедеятельности. - 2009. - N 11. Приложение.
5. Алексеев Д.В., Кориченков Н.И., Кокин С.М. О воздействии электромагнитных полей на здоровье человека // Неделя науки 2000-2002 гг.: тр. науч.-практ. конф. В 3 ч. - М.: МИИТ, 2006.

*А.С. Силантьева, студ.; рук. И.В. Еремин, ст. преподаватель,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Естественная освещенность в зданиях и сооружениях играет важную роль в обеспечении безопасности, комфорта и производительности труда человека. Эффективное использование различных современных систем естественной освещенности способствует экономии электроэнергии, оказывает положительное влияние на здоровье людей, эффективно отражается на их работе и обеспечивает требования по безопасности труда внутри зданий и сооружений [1].

Одним из наиболее существенных недостатков современной уплотненной застройки в мегаполисах, является нарушение нормативных показателей по обеспечению естественным освещением [2]. Данную проблему, недостатка естественного освещения и экономии электроэнергии [3], можно решить с помощью применения световодов различных конструкций.

Световоды позволяют передавать естественный свет с кровли и стен зданий, через световоды в помещениях, расположенных на этажах и в подземных пространствах.

Рассеяние света на выходе световода в помещение может быть диффузным или отличным от диффузного, характеризуемым фотометрическим телом или индикатрисой рассеяния [4].

В зависимости от характера рассеяния света на выходе световода применяются различные методы и методики расчета КЕО.

В данной исследовательской работе произведен обзор современных передовых систем естественного освещения различных конструкций, был произведен расчет некоторых конструкций световодов, а также расчет и исследования возможности модернизации систем естественного освещения в помещениях кафедры безопасности жизнедеятельности ИГЭУ им. В.И. Ленина.

Библиографический список

1. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».
2. ГОСТ Р 54944-2012 «Здания и сооружения. Методы измерения освещенности».
3. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 13.06.2023) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности Российской Федерации».
4. СП 419.1325800.2018 «Здания производственные. Правила проектирования естественного и совмещенного освещения».

*А.М. Сидорова, студ.; рук. А.К. Соколов., д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА НА ОНКОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ ПО ДАННЫМ ВОЗ И ЕС

По оценке Еврокомиссии, для европейцев загрязнение воздуха считается второй крупнейшей экологической проблемой (после изменения климата), которая требует эффективного решения [1]. В Европе с загрязнения воздуха связывают до 400 тысяч случаев преждевременной смерти в год и множества неинфекционных заболеваний, включая злокачественные опухоли. Наиболее частая причина смерти в результате воздействия загрязнения воздуха в Европе заболевания респираторной системы и рак легких. На втором месте находятся болезни сердечно-сосудистой системы, инфаркты и инсульты [1]. Международным агентством по изучению рака (МАВР) признано, что загрязненный воздух содержит канцерогены опасные для людей [2]. Однако, количественный вклад этого фактора в онкопатологию недостаточно исследован. Поскольку на развитие рака влияют множество факторов: уровень и продолжительность воздействия, демографические, географические особенности, состояние окружающей среды, индивидуальная чувствительность и др. Поэтому доля заболевших раком, инициированным химическими соединениями, оценивается приблизительно (от 1% до 19% [3]).

По оценкам ВОЗ около 20% случаев заболеваний раком вызываются воздействием химических соединений производственной и природной окружающей среды [3]. Отмечается, что на рабочих местах больше возможностей для получения более полных характеристик онкоопасности среды, уровней и продолжительностей экспозиции вредных веществ, а также уровня здоровья работников.

Политика ЕС "чистый воздух" включает:

- установление стандартов качества атмосферного воздуха;
- внедрение планов по снижению национальных выбросов;
- установление стандартов для ключевых источников выбросов.

Библиографический список

1. Air Quality in Europe – 2018 report. European Environment Agency. 88 p. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018>
2. IARC. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Outdoor Air Pollution. Lyon, France : IARC ; 2016 : 109 p. URL : <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono109F01.pdf>
3. Madia F., Worth A., Whelan M. and Corvi R. Carcinogenicity Assessment: Addressing the Challenges of Cancer and Chemicals in the Environment. EnvironInt. 2019; 128 :: 417-429.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ПЫЛИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ОЧИСТКИ ГАЗА В ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ЦИКЛОНАХ

Двухступенчатая или многоступенчатая очистки газа применяются, когда выброс пыли в атмосферу превышает предельно допустимую величину. При очистке газа изменяется не только запылённость газа, но и дисперсный состав пыли, поэтому эффективность очистки газа во втором циклоне снижается, так как в него поступает пыль с более высокой долей пыли мелких фракций.

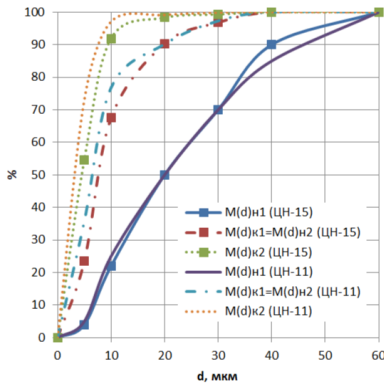


Рис. Функции $M(d)$ для пыли на входе $M(d)_{н1}$ и выходе из первого $M(d)_{к1}=M(d)_{к2}$ и второго $M_{к2}$, центробежных циклонов ЦН-11 и ЦН-15

Расчетное исследование процесса очистки выполнено для двух последовательно установленных циклонов ЦН-11 (6 циклонов в группе диаметром $D=700$ мм) и для двух ЦН-15 (4 циклонов в группе $D=750$ мм). Фракционные эффективности очистки газа $\eta_{ф,i}$ ЦН-11 и ЦН-15 приняты по справочным данным.

На рис. приведены функции $M(d)$, которые показывают доли пыли, %, которые провалятся через сито диаметром d мкм.

В первом циклоне ЦН-11 запыленность $C_{п}$ снизилась с 5 до $0,28$ г/нм³ при эффективности очистки $\eta_1 = 0,944$. Медианный диаметр пыли d_{50} уменьшился с 20 до 6,8 мкм, а доля фракций $d \leq 20$ мкм увеличилась с 50 до 90 %.

Во втором циклоне ЦН-11 при эффективности очистки $\eta_2 = 80$ % запыленность $C_{п}$ снизилась с $0,28$ до $0,055$ до г/нм³, а d_{50} с 6,8 до 4 мкм. Общая эффективность очистки в двух циклонах ЦН-11 составила $\eta = 1 - (1 - 0,944) \cdot (1 - 0,80) = 0,99$.

Величина η во втором циклоне повысилась лишь на 4,6 %, однако поле второго циклона практически не осталось пыли крупнее 10 мкм.

Аналогичное исследование выполнено для ЦН-15.

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

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ НОВОГО ЦЕХА ООО «ОРМАТЕК»

Выпускница кафедры БЖД, работающая инженером по охране труда в ООО «ОРМАТЕК», обратилась на кафедру с просьбой модернизировать осветительную установку одного из цехов. По результатам специальной оценки условий труда выяснилось, что освещенность, создаваемая ею, не соответствует требованиям норм. Руководитель УИР предложил мне выполнить необходимые расчеты. В задании было указано, что необходимо использовать светодиодную сборку 2xLED-T8-M световым потоком 2000 лм под светильник СПП-456 2xLED-T8 -1200. В паспорте светильника было указано, что он имеет косинусное светораспределение и предполагает размещение двух сборок указанного типа.

Анализ трудового процесса выявил ошибку организации, проводившей измерения – согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» нормативное значение освещенности рабочей поверхности должно быть не менее 300 лк. Это все равно было больше, чем освещенность, создаваемая имеющейся установкой. Проектирование решено проводить методом коэффициента использования светового потока. Анализ окружающей обстановки в цехе позволил определить коэффициенты отражения стен, потолка и рабочей поверхности, а анализ конструкции светильника позволил установить тип его КСС – «Д». Цех представляет собою 3 помещения различной геометрии. Для каждого из трех помещений было рассчитано значение индекса помещения. Зная его, коэффициенты отражения стен, потолка и рабочей поверхности, тип КСС светильника в справочнике [1] было выбрано значение коэффициента использования светового потока осветительной установки. Поскольку технологический процесс не предполагает выделения пыли, то было выбрано минимальное значение коэффициента запаса – $K_z=1,3$. В результате расчетов установлено, что для помещения «А» требуется 100 светильников, для помещения «Б» – 34, а для помещения «В» – 21 светильник.

Библиографический список

1. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. М. : Энергоатомиздат, 1983 – 471 с : ил.

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

WASTE MANAGER

С 2019 года введены новые требования в сфере деятельности по обращению с отходами, в частности скорректирован Федеральный Закон «Об охране окружающей среды» в части платы за негативное воздействие на окружающую среду, повышены ставки платежей (введены повышающие коэффициенты) и льготы при оплате (нулевой коэффициент), если отходы фактически использованы в собственном производстве или переданы для использования другим предприятиям. Кроме того, введено повышение платы в 25 раз при превышении объемов отходов, количество которых превысило установленный лимит на размещение. В связи с этим для предприятий встает проблема поиска путей утилизации отходов в краткие сроки и с минимальными затратами. Поэтому сокращение времени на поиск технологий утилизации образующихся на предприятии отходов является актуальной задачей.

В докладе рассматриваются аспекты создания интернет-платформы WasteManager, решающей проблему оптимизации процесса утилизации отходов производства. Устойчивость данного бизнеса обеспечивается за счет множества предприятий в России, где образуются отходы, подлежащие утилизации. Платформа WasteManager предлагает разнообразные варианты для переработки отходов с оптимизацией затрат.

В отличие от конкурентов, WasteManager предоставляет комплексный подход к проблеме популяризации и упрощения возможностей утилизации отходов, что повышает эффективность процесса. Использование платформы может способствовать сокращению экологического вреда и повышению уровня ответственности предприятий за обращение с отходами. Этот продукт поможет предприятиям, имеющим отходы за короткий срок и с минимальными затратами найти утилизирующую компанию подходящего профиля и договорится онлайн, без траты времени на посредников. Также это сократит количество несанкционированных свалок, потому что договориться о вывозе и переработке отходов будет легче и быстрее.

Библиографический список

1. Федеральный закон "Об отходах производства и потребления" от 24.06.1998 N 89-ФЗ (последняя редакция).
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году».

СЕКЦИЯ 12
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ

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

Секретарь –
к.п.н., доцент **Шмелева Г.А.**

*Ю.А. Барышев, В.В. Отряскина, А.М. Хохлова, уч.;
рук. А.Н. Воронов, студ.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗАМЫКАНИЯ ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА В ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Индивидуальный проект «Ядерные топливные циклы с реакторами третьего и четвертого поколений» разработан в Школе инженерного лидерства при ИГЭУ, которая стартовала при поддержке Концерна «Росэнергоатом». Целями проекта были повышение осведомленности в данной области и объяснение значимости замкнутого ядерно-топливного цикла (ЯТЦ). Сравнение замкнутого и открытого ЯТЦ приведено в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнение замкнутого и открытого ЯТЦ

Критерий	Замкнутый ЯТЦ	Открытый ЯТЦ
Ядерный реактор	Реактор на быстрых нейтронах	Реактор на тепловых нейтронах
Топливо	Уран, торий, плутоний (с возможностью рециклинга).	Уран, торий, плутоний (без возможности рециклинга).
Распространенность	Установки в эксплуатации (Россия, Индия, Китай).	Есть во всех странах с АЭС.
Опасность для окружающей среды.	Минимально, т.к. топливо повторно загружается в реактор.	Требуются повышенные меры безопасности, связанные с захоронением и хранением отработавшего ядерного топлива.
Дальнейшие перспективы	Развитие технологий замкнутого топливного цикла, что позволит уменьшить количество отходов и повысить эффективность использования ядерного топлива.	Развитие технологий эксплуатации и модернизация существующих установок. Дальнейшая эксплуатация из-за относительно низкой стоимости строительства и производства электроэнергии, а также более высокая надёжность и безопасность, подтверждённая многолетней работой.

Двухкомпонентная энергетика — это решение задачи по уменьшению количества обогащенного природного урана, необходимого для работы реакторов. Она не достигла пика развития — это то, чем будет заниматься поколение сегодняшних школьников.

*П.С. Басова, В.А. Бодина студ.; рук. Ю.В. Люлин, к.ф.-м.н., доц.
(«МЭИ», г. Москва)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОПРЯЖЕННОГО ТЕПЛООБМЕНА В СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ЛОПАТКИ ГТУ С ИНТЕНСИФИКАТОРАМИ РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Высокие параметры рабочего тела перед газовой турбиной способствуют повышению коэффициента полезного действия газотурбинной установки. Частое обтекание лопаток горячими газами разрушительно сказывается на ее долговечности и целостности конструкции турбины, поэтому важно применять дополнительные методы интенсификации теплоотвода. Одним из наиболее применяемых эффективных способов охлаждения является установка препятствий сложной формы для повышения коэффициента теплоотдачи за счет увеличения площади поверхности и уровня турбулентности потока охлаждающего воздуха [1].

В данной работе было проведено моделирование сопряженного теплообмена в системе охлаждения лопатки с интенсификаторами различной формы и ориентации. На основе анализа научных статей для исследования были выбраны три конфигурации устанавливаемых дефлекторов. В программе для численного моделирования физических процессов была получена гидродинамическая картина потока охлаждающего воздуха через каналы интенсификаторов, поле распределения температуры, скорости и давления в каналах, векторное поле скоростей и поле распределения плотности теплового потока с внутренней поверхности. В процессе моделирования были подобраны оптимальные размеры расчетных сеток, учтены пристеночные области нулевых скоростей, заданы граничные условия приближенные к реальным. По результатам были рассчитаны потери давления, коэффициент потерь, осреднённый коэффициент теплоотдачи на исследуемом участке и число Нуссельта для каждой конфигурации.

В результате моделирования были получены необходимые данные, позволяющие оценить влияние геометрии препятствующих дефлекторов на эффективность охлаждения.

Библиографический список

1. Marwan Effendy1, Yufeng Yao, Jun Yao, Denis R Marchant. Pin-fin shape and orientation effects on wallheat transfer predictions of gas turbine blade. June 2019AIP Conference Proceedings 2114(1):020008.

*И.А. Головкин, студ.; рук. Е.В. Зиновьева, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕТРОВОГО РЕЖИМА ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Ветроэнергетика является одним из наиболее перспективных источников возобновляемой энергии, способным существенно уменьшить зависимость от ископаемых ресурсов и снизить негативное влияние на окружающую среду. Однако, эффективность использования ветроустановок существенно зависит от скорости ветра. Поэтому, проведение исследования ветрового режима в данном регионе имеет важное значение для определения дальнейшего развития в нем ветроэнергетической отрасли.

В рамках исследования были использованы данные о скорости ветра, предоставленные метеорологическими станциями Ивановской области [1]. Полученные данные были обработаны с использованием статистических методов [2]. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Усредненные скорости ветра на разных высотах

Высота над поверхно- стью земли, м	Месяц (усредненные данные за период 2013-2023г.г.)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	3.0	3.0	2.9	2.9	2.7	2.4	2.3	2.2	2.5	2.8	3.0	3.0
20	3.4	3.4	3.3	3.3	3.1	2.8	2.6	2.5	2.9	3.2	3.4	3.4
30	3.7	3.7	3.6	3.6	3.4	3.0	2.9	2.7	3.1	3.5	3.7	3.7
40	4.0	4.0	3.8	3.8	3.6	3.2	3.0	2.9	3.3	3.7	4.0	4.0
50	4.1	4.1	4.0	4.0	3.7	3.3	3.2	3.0	3.4	3.9	4.1	4.1
60	4.3	4.2	4.1	4.1	3.9	3.4	3.3	3.1	3.6	4.0	4.3	4.3
70	4.4	4.4	4.2	4.2	4.0	3.5	3.4	3.2	3.7	4.1	4.4	4.4
90	4.7	4.7	4.5	4.5	4.2	3.7	3.6	3.4	3.9	4.3	4.7	4.7
100	4.8	4.8	4.6	4.6	4.3	3.8	3.7	3.5	4.0	4.4	4.8	4.8

Проведенные исследования показали, что среднегодовая скорость ветра в Ивановской области на приземной высоте составляет порядка 2,7 м/с, а на высоте 100 м составляет 4,3 м/с.

Анализ полученных данных показывает, что в данном регионе наблюдается недостаточная средняя скорость ветра для стабильной работы мощных ветрогенераторов.

Библиографический список

1. Расписание погоды (метеоданные наземных станций, всех стран мира) - URL: <http://rp5.am/> (дата обращения 10.11.23)
2. ГОСТ Р 54418.1-2012 Возобновляемая энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические – Введ.2012-09-20. –М.: Стандартинформ, 2016. – 88с.

П.Е. Голубев, К.С. Лекторов, студ.;
рук. Н.Г. Демьянцева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИЗУЧЕНИЕ ЦИФРОВОГО МУЛЬТИМЕТРА

Цифровые мультиметры имеют определенные пределы измерения для различных величин, включая сопротивления. Обычно, мультиметры имеют ограниченный диапазон измерений сопротивлений, который обусловлен техническими характеристиками и особенностями прибора. Например, типичный диапазон измерений сопротивлений цифрового мультиметра может быть от 0,1 Ом до 20 МОм. Когда сопротивление проводника превышает верхний предел измерения мультиметра, прибор не может измерить данное сопротивление.

В лабораторном практикуме по физике есть работа по определению сопротивления проводника различными способами. Предложенные в нашей работе два метода можно использовать в лабораторной работе для определения сопротивлений с очень большими значениями, используя цифровые мультиметры.

Первый метод. Чтобы уменьшить большое сопротивление, к нему параллельно подключают другое сопротивление. В нашем случае это будет один из мультиметров. Переключим работы этого мультиметра в режим вольтметра и соединим его с другим мультиметром в режиме омметра. Найдем сопротивление мультиметра. Далее подключив к нему параллельно исследуемое сопротивление, найдем сопротивление этого соединения. Используя формулы параллельного соединения резисторов, найдем нужное сопротивление.

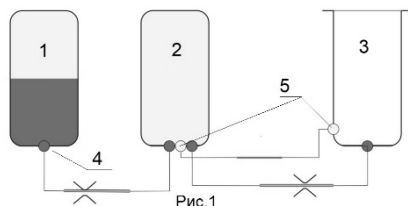
Второй метод. Этот метод предполагает знание устройства омметра. Омметр – это прибор, позволяющий измерять сопротивление резисторов. Его принципиальная схема содержит соединенные последовательно идеальный источник постоянного напряжения, резистор и идеальный амперметр. При подключении к омметру исследуемого резистора показания амперметра автоматически пересчитываются так, что на табло прибора отображается значение исследуемого резистора, подключенного к омметру. Подключим последовательно два мультиметра в режиме омметра и исследуемое сопротивление. Используя закон Ома, правила последовательного соединения, схему омметров, можно теоретически показать, что значение исследуемого сопротивления в данном случае будет равно сумме показаний омметров. Точность измерений вторым методом несколько выше.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ ОСНОВНОГО КОРПУСА И СТРАХОВОЧНОГО КОЖУХА РЕАКТОРА В СРЕДЕ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ SIMINTECH

С целью достижения технического суверенитета, необходима верификация и валидация программных продуктов российского производства. Примером является среда разработки математических моделей SimInTech (SIT).

В работе рассматривается модель протекания запроектной аварии, связанной с разгерметизацией основного и страховочного корпусов реакторной установки. Целью работы является определение параметров, определяющих процесс истечения (давления, уровня и объема жидкости, времени истечения теплоносителя) с помощью моделирования в SIT. На рис.1 изображена схема "реактор - страховочная полость - реакторный зал", где 1-реактор (представляет собой закрытый сосуд с некоторым уровнем теплоносителя), 2-страховочная полость (закрытый сосуд с избыточным давлением внутри), 3-открытый сосуд большего объема (моделирует помещение реакторного зала), 4-гидравлический узел, связывающий сосуды по теплоносителю, 5-гидравлический узел, связывающий сосуды по газу.



Для верификации рассматриваемого теплогидравлического модуля SIT производилось сравнение результатов моделирования с аналитическим решением системы дифференциальных уравнений, описывающих процесс истечения сред в рассматриваемой задаче.

Получено, что результаты моделирования и аналитического решения сходятся с достаточной высокой степенью точности. Решена задача верификации и валидации рассматриваемого программного модуля SimInTech.

Библиографический список

1. Щекатуров А.М., Корсаков А.Р.: Методика моделирования динамики паротурбинной установки ТК-35/38-3,4 на базе кода HS-ДМК-Пресс. 2022.
2. Чугаев Р.Р., Гидравлика - 4-е изд. - Энергоиздат, 1982.

**В.В. Елисеев, студ.; рук. Н.Г. Демьянцева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ

Реакторы — это специальные устройства, в которых происходят управляемые ядерные реакции с выделением энергии. Поскольку реакторы являются дорогими аппаратами, то нет возможности строить опытные образцы, предназначенные для экспериментов и обучения персонала. В связи с этим актуальна задача математического моделирования режимов работы реактора [1].

В данной работе представлена имитационная модель реактора ВВЭР-1000, которая включает в себя математические модели: точечной кинетики нейтронов, тепловыделения, теплоотвода, отравления ксеноном, органов СУЗ (системы управления и защиты) [2].

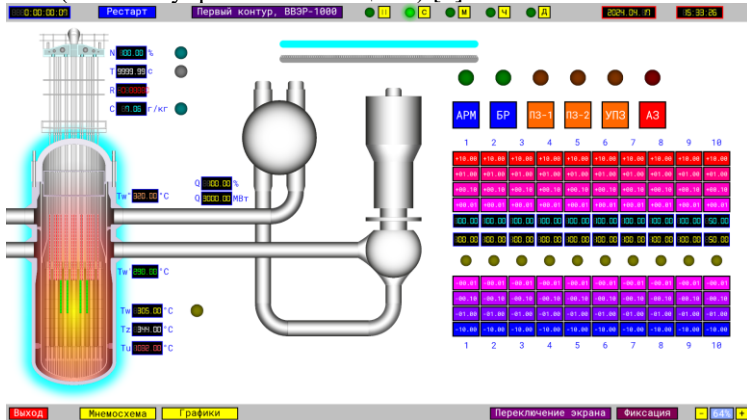


Рис. 1. Интерфейс разработанной программы тренажёра

Тренажёр позволяет наблюдать за параметрами ТП с помощью мнемосхемы и графиков, что обеспечивает наглядное представление о состоянии реактора. При написании программы выбран ЯП — С++.

В целом, данная работа может представлять интерес для всех, кто интересуется ядерной энергетикой и математическим моделированием, а также использоваться в учебных целях.

Библиографический список

- Ильченко А.Г.** Переходные и нестационарные процессы в ядерных реакторах – Изд-во: Иван. гос. энерг. ун-т, 2000. – 116 с.
- Семенов В.К. Вольман М.А.** Кинетика ядерных реакторов (теория, мат. и имит. моделирование). – Изд-во: ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2015. – 272 с.

У.С. Захарова, Т.М. Новиков, студ.;
рук. М.Н. Шинко, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЛИЯНИЕ ЗВУКА НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЫ

Аннотация: в данной работе было исследовано влияние звука на физико-химические свойства (электропроводность и Ph) и структурные особенности воды.

Ключевые слова: вода, звук, структура, свойства воды.

Введение: вода – это один из самых важных ресурсов на нашей планете, она играет роль во множестве процессов: от промышленных до биологических. Именно поэтому следует знать, как мы можем воздействовать на воду. Одним из факторов влияния является звук.

Основная часть: установлено, что наиболее заметные изменения электропроводности наблюдаются в интервале частот 40-60 Гц. Использование метода газоразрядной визуализации ГРВ показало, что звук оказывает влияние на параметры электронов, отображающие геометрические параметры молекулярных комплексов воды и их пространственное расположение. Полученные нами данные представляют не только научную ценность, но могут быть использованы на практике.

Заключение: на структуру воды можно влиять с помощью звука, что может найти практическое применение.

Библиографический список

- 1. Шенин А.А., Кершенгольц Б.М.** Влияние звуковых и световых волн на структурные перестройки водных и водно-солевых надмолекулярных кластеров. [Электронный ресурс]. URL: <https://finer.ru/podg/content/vliyanie-zvukovykh-i-svetovykh-voln-na-strukturnye-perestroiki-vodnykh-i-vodno-solevykh-nadm> (дата обращения: 27.03.2024).
- 2. Воробьева Л.Б.** Электропроводность образцов питьевой воды разной степени чистоты. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/elektroprovodnost-obraztsov-pitievoy-vody-raznoy-stepeni-chistoty/viewer> (дата обращения: 27.03.2024).

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

РАСЧЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ФИЛЬТРА С ЦЕЛЬЮ ЕГО ОПТИМИЗАЦИИ

Оптимизации отдельных технических элементов позволяет повысить их эффективность и надежность, что способствует обеспечению более высоких показаний всей установки в целом.

В данной работе было проведено расчетное моделирование магнитного фильтра, используемого в качестве выходного фильтра-ловушки при испытаниях аппаратов циклонного типа. Моделирование и оптимизация осуществлялось с учетом разного расположения входного и выходного патрубков рис.1. В качестве исходного варианта был фильтр с патрубками «а» и «е». Параметры, по которым производилась оптимизация – перепад давления (ΔP) и процент задержанных частиц (n), для каждого варианта они приведены в таблице 1.

Расчетное исследование было проведено с помощью прикладного пакета COMSOL Multiphysics. Расчет производился для частиц железа с диаметром 75 мкм и с концентрацией 2 г/л.

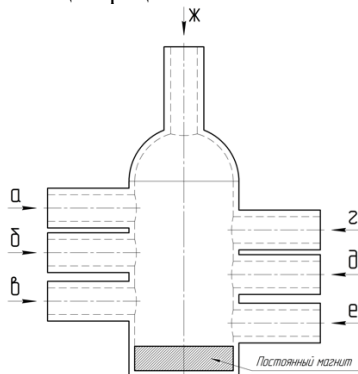


Рис.1. Схематическое положение патрубков магнитного фильтра

Таблица 1 - Результаты расчетного исследования

	е-а	а-е	д-б	б-д	в-г	г-в	д-ж	ж-д	е-ж	ж-е
ΔP , КПа	17,3	19,2	19,0	19,3	14,7	18,3	15,3	20,3	15,2	20,3
n, %	99	100	100	98	83	83	100	100	100	100

В ходе расчетного исследования, лучшими конструкциями, по потерям давления и числу задержанных частиц являются д-ж, е-ж. Также, по итогам расчетного исследования, допускается использование исходной конструкции е-а.

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

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ В КАМЕРЕ ОБСКУРЕ

Камера-обскура, известная также как темная комната, представляет собой устройство, основанное на принципе проецирования света через маленькое отверстие (апертуру), создавая изображение на противоположной стене или поверхности. Камера-обскура нашла применение в живописи, фотографии и астрономии. В средние века художники использовали её для написания картин, обводя полученное изображение. В астрономии дополнительно используют линзы, чтобы получить четкое изображение.

В камере-обскура используется эффект дифракции: при попадании в отверстие входящий плоский фронт волны становится немного изогнутым (параллельные волны становятся расходящимися). Интерференция делает изображение размытым — в одних точках волны усиливаются, в других ослабевают. Размер апертуры контролирует количество света и глубину резкости изображения. Камера обскура демонстрирует базовые принципы формирования изображений. По такому

же принципу работают объективы современных фотоаппаратов. Была изготовлена камера без объектива и чёрная поверхность с отверстием (рис. 1). Регулируя размер отверстия и расстояние между матрицей и апертурой, было достигнуто достаточно четкое изображение.



Рис. 1. Камера-обскура

Вывод из эксперимента с камерой обскуры состоит в том, что основные законы оптики останутся неизменными независимо от сложности устройства, демонстрирует базовые принципы формирования изображений. Использование простых оптических принципов могут привести к созданию важного инструмента в науке и искусстве, которое используется до сих пор.

Библиографический список

1. В. Сурдин, М. Карташев, Камера обскуры [текст], 1999
2. Вольфганг Лефевр, внутри камеры-обскуры – оптика и искусство под чарами проецируемого изображения [текст], 2007

А.А. Котякина, С.В. Новоселов, В.О. Ларина студ.;
рук. В.Х. Костюк, к.ф.-м.н., доц. (ИГЭУ, г.Иваново)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ

Цель лабораторной работы — экспериментальное изучение трения качения, которое возникает при качении без проскальзывания по горизонтальной поверхности шара. Под действием силы тяжести тело деформирует поверхность. Со стороны деформированной поверхности на тело действует сила, горизонтальная составляющая которой препятствует движению и является силой трения качения.

Момент силы трения качения $M_{тр.к.ч.} = kN$, где N – нормальная составляющая силы реакции опоры. Коэффициент трение качения k есть плечо силы N и имеет размерность длины. В работе определяется k для стального шарика и мягкой горизонтальной основы. Шарик скатывают с наклонного уголка, закрепленного в штативе (рис.1).

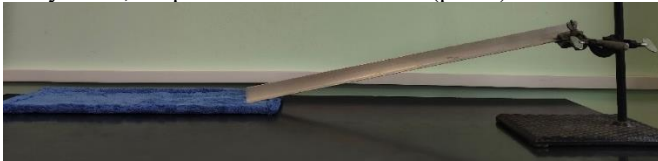


Рис. 1. Экспериментальная установка

Путь s , пройденный шариком до остановки по горизонтальной поверхности, связан с начальной высотой H выражением: $s = \frac{RH}{k} - s_0$, где R – радиус шарика; s_0 – постоянная конструкции установки (рис.2).

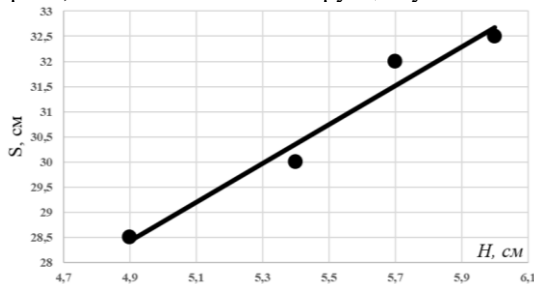


Рис. 2. Экспериментальная зависимость $s(H)$

По результатам опытов при $R = 1$ см коэффициент трения качения

$$k = \frac{R}{\operatorname{tg} \alpha} = 0,26 \text{ см.}$$

К.С. Лекторов, П. Е. Голубев студ.;
рук. Н.Г. Демьянцева, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)
ИЗМЕРИТЕЛЬ МАССЫ

Лабораторный практикум по физике – один из методов изучения, усвоения и повторения изученного материала. В этапы практикума может входить изготовление несложного технического устройства, эксперимент с его использованием, анализ полученных результатов.

Данная работа связана с изготовлением и применением в учебных целях устройства для измерения массы небольшого тела, используя метод ареометра. Ареометр – прибор для измерения плотности жидкости или твердого тела, принцип работы которого основан на законе Архимеда. В нашей работе мы предлагаем использовать данный метод для определения массы шариков в лабораторной работе по определению вязкости жидкости, а также для анализа влияния приборных погрешностей прямых и косвенных измерений физических величин.

Для изготовления таких «весов» мы использовали следующие составляющие, показанные на рис.1: стеклянная трубка (1) с заклеенным с одного конца пластилином (2); полоска миллиметровой бумаги, приклеенная скотчем к трубке (3); воронка с закрытым дном (4), куда в процессе эксперимента помещают шарик (5) (диаметр нижней части воронки чуть меньше диаметра стеклянной трубки); любая глубокая емкость с водой (на рис.1 не показана).



Рис. 1.

Наливаем в стеклянную трубку немного воды для устойчивости ареометра в воде. Помещаем данную систему в емкость с водой вначале без шарика. Отмечаем по шкале миллиметровой бумаги границу уровня воды. Помещаем шарик в воронку и снова отмечаем уровень воды. Используя закон Архимеда, некоторые математические преобразования находим массу шарика по формуле $m = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \Delta h$, где ρ – плотность воды; R – радиус стеклянной трубки; Δh – величина изменения уровня воды при помещении шарика в воронку.

*В.С. Лубягин, Д.И. Ивченко, асп.; рук. В.А. Огурцов, д.т.н., проф.
(ИВГПУ, г. Иваново)*

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ АНСАМБЛЯ ЧАСТИЦ ПО ВИБРИРУЮЩЕМУ СИТУ

Для непрерывного процесса фракционирования сыпучих материалов на вибрирующем сите необходимо знать скорость транспортирования ансамбля частиц по просеивающей поверхности грохота [1-2]. Предложена цифровая 3D-модель, которая позволила создать виртуальный процесс движения сыпучего материала по вибрирующему сити. Был создан виртуальный аппарат, который обладал всеми признаками реального грохота, отличающийся от реальной машины только габаритами. У просеивающей поверхности размер и форма отверстий сита, диаметр металлической проволоки полностью соответствовали реальному сити. Параметры колебаний (траектория, амплитуда и частота) повторяли параметры движения сита промышленного грохота. Были созданы копии реальных частиц. Их форма, размер, плотность, коэффициенты статического и динамического трения, коэффициенты восстановления скорости при ударе частиц друг о друга, о просеивающую поверхность и о борта грохота соответствовали физическим параметрам частиц реального сыпучего материала.

Компьютер отслеживал изменения координат абсолютного и относительного движения каждой частицы. Определялась средняя скорость транспортирования сыпучей среды по сити виртуального грохота. Были проведены численные эксперименты по определению влияния параметров колебаний сита и угла его наклона на скорость движения частиц по просеивающей поверхности.

Проведенные исследования позволили перенести значение средней скорости движения сыпучей среды по сити виртуального грохота на реальный аппарат и пересчитать время пребывания частиц на его сите, что позволило рассчитать производительность классификатора и эффективность отсева в промышленных условиях.

Библиографический список

1. Расчет распределения частиц по времени пребывания на поверхности вибрационного грохота / В.А. Огурцов, А.П. Алешина, А.В. Огурцов, А.М. Фатахетдинов // Вестник ИГЭУ.- Иваново. – 2016, №6. С. 71-74.
2. **Огурцов В.А., Хохлова Ю.В., Алешина А.П., Огурцов А.В.** К расчету процесса вибросепарации на ситовых тканях сыпучих материалов с высоким содержанием частиц мелких фракций// Изв. Вузов. Технология текстильной промышленности. – 2023, № 4. С. 257 – 261.

Т.М. Новиков, У.С. Захарова, студ.;
рук. М.Н. Шипко, д.т.н., проф.,
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЛИЯНИЕ ЗВУКА НА СТРУКТУРУ ВОДЫ

Аннотация: в работе представлен обзор исследований, посвященных влиянию физических факторов на структуру воды. Рассмотрены различные механизмы взаимодействия звуковых волн с молекулами воды.

Ключевые слова: вода, звук, структура, физико-химические свойства.

Введение: в последние годы все больше внимания уделяется изучению влияния различных факторов на структуру и свойства воды. Одним из таких факторов является звук. Это может найти применение в отрасли медицины и промышленности.

Основная часть: проведен анализ работ посвященных влиянию физических факторов (лазерного излучения, электромагнитных полей звука, радиации) на физико-химические параметры воды и ее структурное состояние. Особое внимание уделено влиянию звука на состояние кластеров. Акцент сделан на использование различных методов для изучения геометрии кластеров их взаимного расположения после внешнего воздействия. Установлено, что изменение структурного состояния воды может вызвать изменение ее энергетических параметров весьма важных для атомной энергетики.

Заключение: таким образом, звук может оказывать значительное влияние на структуру и свойства воды.

Библиографический список

1. Шейн А.А., Кершенгольц Б.М. Влияние звуковых и световых волн на структурные перестройки водных и водно-солевых надмолекулярных кластеров. URL: <https://finer.ru/podg/content/vliyanie-zvukovykh-i-svetovykh-voln-na-strukturnye-perestroiki-vodnykh-i-vodno-solevykh-nadm> (дата обращения: 27.03.2024)
2. Воробьева Л.Б. Электропроводность образцов питьевой воды разной степени чистоты. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/elektroprovodnost-obraztsov-pitievoy-vody-raznoy-stepeni-chistoty/viewer> (дата обращения: 27.03.2024)

А.А. Котьякина, С.В. Новоселов, студ.;
рук. В.Х. Костюк, к.ф.-м.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)
ИЗУЧЕНИЕ ВИДОВ СУХОГО ТРЕНИЯ
В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ

Целью работы является изучение основных закономерностей сухого трения. Основная часть установки – металлический желоб прямоугольного сечения. Он может поворачиваться вокруг горизонтальной оси и закрепляться в нужном направлении. Угол наклона желоба к горизонту α можно определить, измерив расстояние h и длину желоба l (рис. 1).

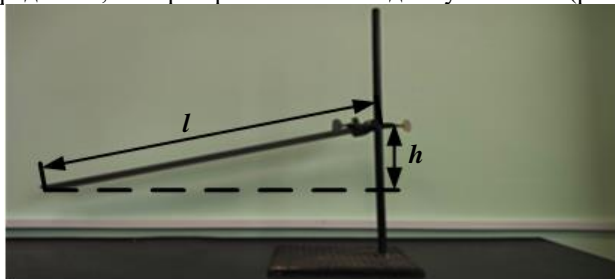


Рис. 1. Схема установки

В лабораторной работе определяются: K – коэффициент трения покоя; K_1 – коэффициент трения скольжения; K_2 – коэффициент трения качения. Коэффициент трения покоя:

$$K = \frac{4}{9}tg\alpha_2 + \frac{5}{9}\frac{K_2}{r}, \quad (1)$$

где r – радиус шарика; α_2 – наибольшее значение угла, при котором возможно движение без скольжения.

Коэффициент трения скольжения:

$$K_1 = \left(g \sin \alpha - \frac{2l}{t^2} \right) \frac{1}{g \cos \alpha}, \quad (2)$$

где α – угол наклона желоба, при котором движение шарика можно считать чистым скольжением; t – время движения на l ; g – ускорение свободного падения.

Коэффициент трения качения:

$$K_2 = \frac{9r}{5g} \left(\frac{5}{9}g \sin \alpha_1 - \frac{2l}{t^2} \right) \frac{1}{\cos \alpha_1}, \quad (3)$$

где α_1 – угол качения шарика без скольжения.

*А.К. Михайловский, Е.В. Пилипчук, студ.;
рук. М.С. Фадеева, асс. (ИГЭУ, г. Иваново)*

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

Компьютерный практикум улучшает наглядность задач квантовой механики, но учебных программ по квантовой физике в настоящее время всё ещё недостаточно. В практикум необходимо включить задачи, которые помогут понять основы квантовой теории. Ранее рассматривались задачи о движении частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками и гармоническом осцилляторе [1]. Переход к анализу движения частицы в потенциальной яме конечной глубины, будет проходить поэтапно: сначала рассмотрим частицу в потенциальной яме с одной бесконечно высокой стенкой (рис. 1), где a – ширина ямы. Данная задача представляет практический интерес, так как потенциальная энергия двух притягивающихся частиц, например, двух атомов, образующих молекулу, близка к этой модели.

Волновая функция вне потенциальной ямы отлична от нуля и спадает с расстоянием по экспоненциальному закону, а это означает, что существует отличная от нуля вероятность пребывания частицы вне ямы. Качественный вид собственных волновых функций для данной задачи приведен на рис. 2.

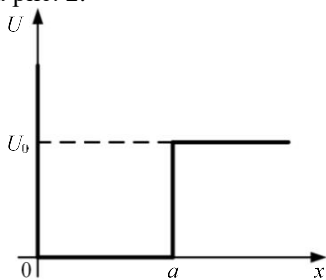


Рис. 1. Вид потенциальной ямы

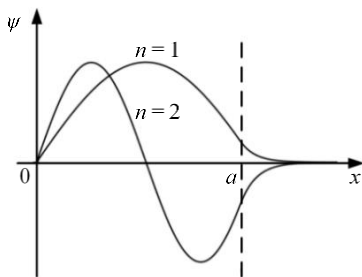


Рис. 2. Вид волновых функций

Система позволяет студентам сравнить результаты расчета аналитическим и численным методами. Такой анализ демонстрирует перспективность использования численных методов при решении задач квантовой механики.

Библиографический список

1. Шощорин, Д.О. Компьютерная визуализация задач квантовой механики / М.С. Фадеева, Д.О. Шощорин // Тепловые и ядерные энерготехнологии. Восемнадцатая всероссийская (десятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2023»: Материалы конференции. В 6 т. Т. 2. – Иваново: ФГБОУ ВО «ИГЭУ им. В.И. Ленина», 2023. – С. 108.

А.К. Михайловский, Е.В. Пилипчук, студ.;
рук. М.С. Фадеева, асс. (ИГЭУ, г. Иваново)

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ СТАЦИОНАРНОГО УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА ДЛЯ КВАНТОВОГО АНГАРМОНИЧЕСКОГО ОСЦИЛЛЯТОРА

Под ангармоническим осциллятором понимают осциллятор с квадратичной зависимостью потенциальной энергии от координаты. Простейшим приближением ангармонического осциллятора является приближение потенциальной энергии до третьего слагаемого в ряде Тейлора (рис.1). Гамильтониан одномерного ангармонического осциллятора частицы массой m для частоты ω имеет вид:

$$\hat{H} = \frac{\hat{p}^2}{2m} + \frac{1}{2}m\omega^2\hat{q}^2 + \lambda\hat{q}^3,$$

где \hat{p} – оператор импульса; \hat{q} – оператор координаты.

Точное решение задачи о спектре энергии такого осциллятора довольно трудоёмкое, однако можно воспользоваться численными методами [1]. Задача решалась в программном пакете MatLab. Данная задача является частью компьютерного практикума по решению задач квантовой механики, разрабатываемого на кафедре физики ИГЭУ (рис.2).

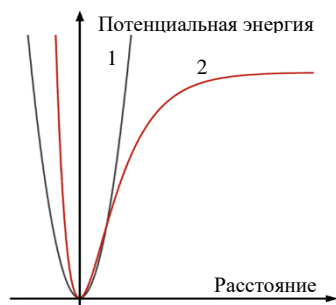


Рис. 1. Вид потенциала для гармонического (1) и ангармонического (2) осциллятора

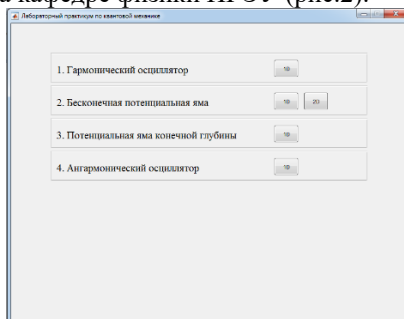


Рис. 2. Главное меню программы

Библиографический список

1. Ляпин, Д.С. Численное решение стационарного уравнения Шредингера для квантового гармонического осциллятора / Д.С. Ляпин, А.А. Соколов, М.С. Фадеева, Г.А. Шмелева // Тепловые и ядерные энерготехнологии. Шестнадцатая всероссийская (восьмая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2022»: Материалы конференции. В 6 т. Т. 2. – Иваново: ФГБОУ ВО «ИГЭУ им. В.И. Ленина», 2022. – С. 100.

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

СОЗДАНИЕ САПР ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОКОГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ

Токоограничивающий реактор – это электрический аппарат, предназначенный для ограничения ударного тока короткого замыкания. В настоящий момент наиболее распространенный тип реакторов – реакторы с обмоткой ленточного типа. Широкое использование данного типа реакторов и широкий диапазон требуемых характеристик приводит к необходимости создания точной и быстродействующей САПР токоограничивающих реакторов.

Данная работа посвящена разработке методики оптимального проектирования, структуры и компонентного состава САПР токоограничивающих реакторов, построенной на основе быстродействующей комбинированной математической модели электромагнитных процессов. В основе используемой математической модели применен математический аппарат оригинальной версии метода моделирования магнитного поля на основе закона Био-Савара-Лапласа, позволяющий рассчитывать трехмерное стационарное магнитное поле. Для повышения точности расчета в предлагаемой САПР помимо полевой модели используется цепная модель реактора, реализуемая в программном комплексе MatLAB. Так, полевая модель позволяет получить матрицу собственных и взаимных индуктивностей обмоток, которая затем используется в цепной модели для расчета реактора при номинальных рабочих параметрах.

Собственная индуктивность витка рассчитывается как:

$$L_w = \mu_0 R_w \left(\ln \left(\frac{8R_w}{r} \right) - \frac{7}{4} \right) \quad (1)$$

Взаимная индуктивность i -го и j -го витков рассчитывается как:

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

$$k = \frac{\sqrt{4R_i R_j}}{\sqrt{(R_i + R_j)^2 + (z_j - z_i)^2}}, \quad (3)$$

Интерфейс программы выполнен на базе Microsoft Excel для облегчения взаимодействия проектировщика с САПР.

**Б.И. Савченко, А.И. Маркин (ИГЭУ); Е.А. Киприкова (ИвГМУ) студ.
рук. И.П. Игошин, к.ф.-м.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново),
В.П. Смирнов (врач НХО ЦРБ, г. Кинешма)**

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ГИДРОФИЛЬНОЙ ВОЛОКНИСТОЙ СРЕДЫ

Автоматизация измерений с возможностью программируемого управления и обработки результатов, несомненно, является актуальной. В работе представлена опытно конструкторская разработка первого этапа автоматизации «Компактной установки для измерений проницаемости пористых сред» [1]. Особый интерес представляет пористая среда в замкнутом объеме где создано внутреннее гидростатическое давление, которое больше атмосферного давления. Для определения внутреннего давления гравитационный капельный дозатор жидкости в установке [1] приходится медленно поднимать и останавливать в момент появления первой капли. Затем продолжить подъем до установления стационарного капельного режима чтобы определить проницаемость. Структурная схема автоматизации [1] показана на рис.1.

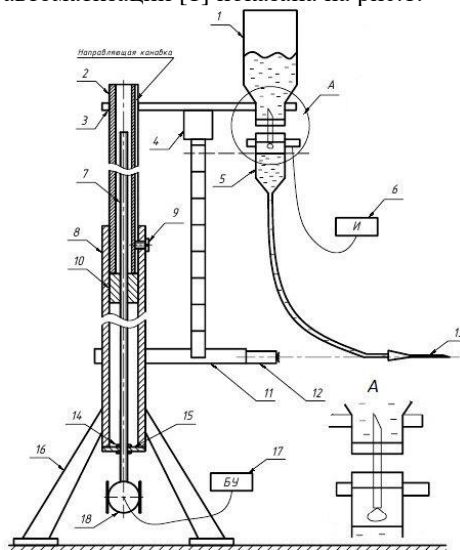


Рис.1. Элементы конструкции:

1. Емкость для жидкости.
2. Трубка подвижная.
3. Держатель емкости.
4. Рулетка измерительная.
- 5(А). Дозатор жидкости
6. Индикатор капель.
7. Ходовой винт.
8. Трубка неподвижная.
9. Винт стопорный.
10. Гайка ходового винта.
11. Крепление.
12. Указатель нулевого уровня лазерный.
13. Трубка измерительная.
- 14, 15. Подшипник опорный.
16. Опора нижняя (3 шт.).
17. Блок управления.
18. Электродвигатель.

Библиографический список

1. Графчикова А.А., Загаринская А.А, Ильина О.А, Игошин И.П. Компактная установка для измерения проницаемости пористых сред, Иваново ИГЭУ, «Энергия 2019», материалы конференции, т.1, с 50.

И.М. Сильченко, студ.;

рук. Г.А. Шмелева, к.п.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

ОБУЧЕНИЕ РЕШЕНИЮ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРА

Решение физических задач является одним из мощных средств развития творческих способностей студентов на всех этапах обучения физике в вузе. Но курс физики не ориентирован на освоение компьютера в качестве современного инструментария и связанных с ним новых методов науки.

Компьютер как новый мощный инструмент вызывает необходимость его применения при обучении физике. "Новые информационные технологии" (НИТ) не только компьютерные программные средства, требуется изменить само содержание физического образования с тем, чтобы сформировать у студентов новые способы деятельности с использованием компьютера в качестве инструментального средства обучения физике и организовать реальную направленность физического образования на усвоение новых методов физики - науки, связанной с широким применением компьютеров в науке.

В работе предложена модель методической системы обучения решению физических задач по оптике с помощью компьютера (рис.1).

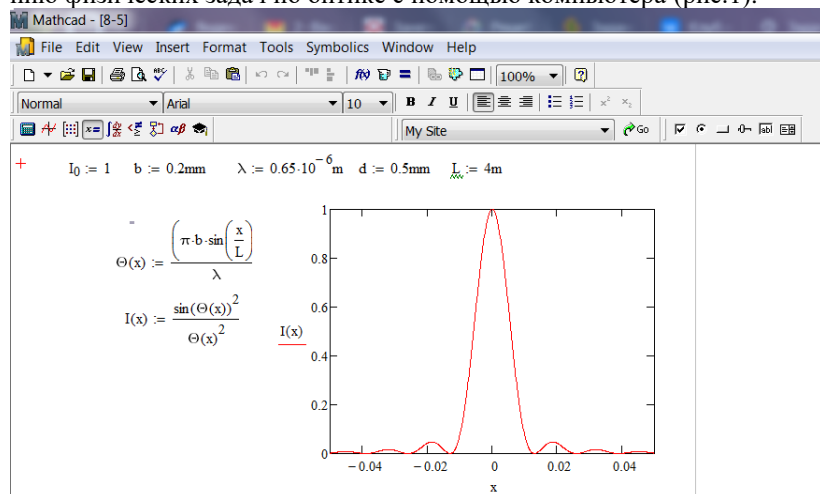


Рис.1. Пример решения физической задачи в системе Mathcad

А.Д. Трофимов, И.А. Феоктистов, студ.;
рук. Г.А. Шмелева, к.п.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

СРАВНЕНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Сравнение графических моделей в разных программных обеспечениях позволяет найти преимущества и недостатки различных программных средств с точки зрения их применимости, точности и сложности.

Изучение современных тенденций в развитии компьютерных средств для решения задач по физике показало, что компьютер может помочь в решении сложных задач и их анализе. Ниже приведен пример применения компьютера для решения задачи по волновой оптике.

Постановка задачи состояла в том, чтобы найти геометрическое место точек максимумов интерференции для двух когерентных источников электромагнитного излучения.

На рис. 1 два когерентных источника электромагнитного излучения S_1 и S_2 лежат в плоскости Q . Расстояние между источниками d . Вектор напряженности электрического поля волны перпендикулярен плоскости Q . Длина волны излучения λ . Положение максимумов определялось по формуле:

$$-4d^2x^2 + 4m^2\lambda^2x^2 + 4m^2\lambda^2y^2 = m^4\lambda^4 - d^2m^2\lambda^2.$$

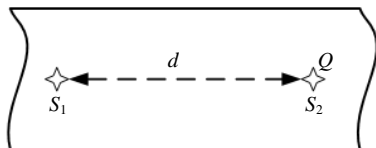


Рис. 1.

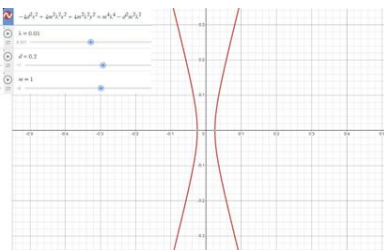


Рис. 2.

Для анализа графической модели применяем программную среду desmos для значений $d = 20$ см, $\lambda = 5$ см. На рис. 2 приведен пример интерференционной картины в среде desmos. В формуле мы оставили постоянными длину волны и расстояние между источниками. Компьютерный анализ позволяет легко менять значение входных параметров. Изменялся порядок максимумов m от -6 до 6. При значениях $m = 0, 1, 2, 3$ получаем семейство гипербол, которые при увеличении m переходят в эллипсы с фокусами S_1 и S_2 .

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ НА ОДНОЙ И ДВУХ ЩЕЛЯХ

В лабораторном практикуме по оптике проводятся опыты по дифракции Фраунгофера на одной и двух щелях, целью которых являются ознакомление с разными дифракционными картинами света и анализ распределения интенсивностей максимумов. Аналитический расчет приводит к формуле интенсивности света на экране в зависимости от угла дифракции φ в виде:

$$I_{\varphi} = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi\right)}{\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi\right)^2},$$

где I_0 – интенсивность света в середине дифракционной картины; I_{φ} – интенсивность света в точке, положение которой определяется углом φ . Интенсивности центрального и следующих максимумов относятся как 1:0,045:0,016 и т.д. Дифракция на одной щели дана на рис. 1.

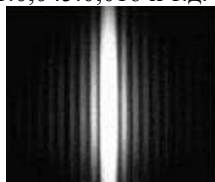


Рис.1



Рис.2

Дифракция на двух параллельных щелях одинаковой шириной a , расположенных на расстоянии b друг от друга, приводит к другой картине. Результирующую картину можно определить путем сложения двух картин с учетом интерференции волн, идущих от щелей (рис.2). Условие минимума интенсивности $a \sin \varphi = k \lambda$, где $k = \pm 1, 2, 3, \dots$, выполняется. Но действие одной щели усиливает действие другой. Этим направлениям соответствуют максимумы интенсивности. Расстояния между первичными минимумами (от одной щели) зависит от ширины щели a . Если $a \ll (a + b)$, то между двумя первичными минимумами может расположиться несколько минимумов и максимумов. Рис. 2 показывает распределение интенсивностей света при дифракции на двух параллельных щелях. Измерив на опыте ширину центрального максимума и зная длину волны источника света, можно определить ширину щели.

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

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СИЛОВОМ ТРАНСФОРМАТОРЕ

Тепловая модель силового трансформатора является ключевым аспектом анализа его работы в электрических сетях. Использование электрических схем замещения помогает упростить процесс изучения теплового поведения трансформатора и выявить возможные проблемные зоны. Понимание работы силового трансформатора и его тепловых характеристик позволяет обслуживающему персоналу эффективно управлять нагрузкой и обеспечить стабильную работу энергосистемы.

В настоящее время цифровая техника позволяет реализовать множество математических моделей физических процессов. Электрические схемы замещения представляют собой упрощенные модели, которые отражают основные электрические параметры силового трансформатора. Принцип составления электрических схем замещения для моделирования тепловых процессов основан на электротепловой аналогии и представлении тепловых схем замещения в виде замкнутых электрических цепей. Метод тепловых схем замещения базируется на сходстве тепловых и электрических параметров, таких как тепловые потоки и электрические токи, тепловые сопротивления и электрические сопротивления [1]. Анализ тепловой модели позволяет проследить распределение тепла внутри трансформатора и определить его эффективность работы в зависимости от изменений нагрузки.

Оптимизация теплового режима силового трансформатора особенно важна для предотвращения перегрева и повреждения оборудования. Путем применения тепловых моделей и анализа электрических схем замещения можно оптимизировать работу трансформатора и повысить его надежность [2].

Исследования в области тепловых моделей силовых трансформаторов открывают новые перспективы для развития электротехники и повышения эффективности энергосистем.

Библиографический список

- 1. Филиппов И.Ф.** Основы теплообмена в электрических машинах. – Ленинград : Энергия. Ленингр. отд-ние, 1974. — 384 с.
- 2. Стулов А.В.** Разработка комбинированных моделей и методов теплового анализа в САПР распределительных трансформаторов: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.12. — Иваново, 2015. — 152 с.

И.А. Феоктистов, А.Д. Трофимов, студ.;
рук. Г.А. Шмелева, к.п.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)
**АНАЛИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГРАФИЧЕСКИХ
 МОДЕЛЕЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ СХЕМ**

Применение компьютерных средств для решения задач по физике становится всё более распространённым явлением. Компьютер может помочь в решении сложных задач и их анализе. Ниже приведен пример применения компьютера для решения задач по волновой оптике.

Постановка задачи состояла в выводе уравнения, которым описывается геометрическое место точек максимумов интерференции для двух когерентных источников электромагнитного излучения.

На рис. 1 два когерентных источника электромагнитного излучения S_1 и S_2 лежат в плоскости Q . Расстояние между источниками d . Вектор напряженности электрического поля волны перпендикулярен плоскости Q . Длина волны излучения λ . Требуется найти точки на этой плоскости, в которых амплитуда результирующих колебаний максимальна.

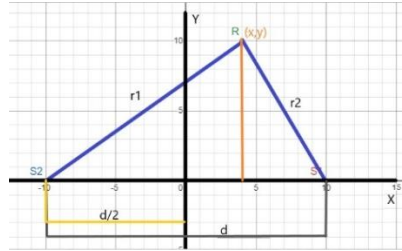
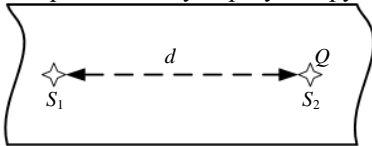


Рис. 1.

Рис. 2.

Как следует из рис. 2 $r_1 = \sqrt{\left(\frac{d}{2} + x\right)^2 + y^2}$, $r_2 = \sqrt{\left(\frac{d}{2} - x\right)^2 + y^2}$. Для

максимума интерференции: $r_1 - r_2 = m\lambda$. Конечное уравнение в общем виде, которое описывает геометрическое место точек максимумов интерференции:

$$-4d^2x^2 + 4m^2\lambda^2x^2 + 4m^2\lambda^2y^2 = m^4\lambda^4 - d^2m^2\lambda^2.$$

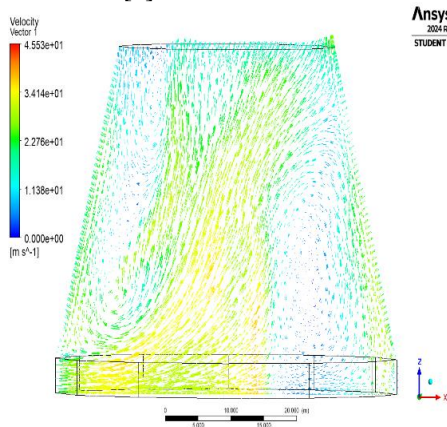
Для аналитического анализа графической модели применяем программную среду desmos для значений $d = 20$ см, $\lambda = 5$ см. При значениях $m = 0, 1, 2, 3$ получаем семейство гипербол, которые при увеличении m переходят в эллипсы с фокусами S_1 и S_2 .

Аналитический анализ графических моделей интерференционных схем позволяет менять значение входных параметров и рассматривать разные задачи.

М.Д. Фомичев, асп.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОЦЕНКА НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОМАССОБМЕНА В БАШЕННЫХ ГРАДИРНЯХ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОЙ МОДЕЛИ

Процесс моделирования башенных градирен, включая анализ распределения потоков теплоносителей, сталкивается с определенными сложностями из-за нелинейности процессов. Эти сложности возникают вследствие фазовых переходов в теплоносителях и конвективной циркуляции воздушных потоков. Для моделирования распределения входящих потоков воздуха предлагается использовать программный комплекс ANSYS FLUENT [1], что позволит последующее выполнение расчетов с применением разработанной на основе матричной формализации модели теплообмена [2].



В результате проведенного моделирования в ANSYS FLUENT была сформирована численная сетка, содержащая 450000 ячеек. Для моделирования эффекта обдува ветром применено граничное условие "Velocity Inlet" с указанием скорости ветра только по компоненте X. Полученный профиль скоростей воздуха иллюстрируется на рисунке.

Расчетный анализ показал, что при неравномерном распределении воздуха и воды по сечению градирни [2] среднее снижение охлаждающей эффективности достигает 6-7%.

Библиографический список

1. FLUENT Incorporated, FLUENT Users Guide Release 12, Lebanon, New Hampshire, USA, 2009.
2. Жуков В.П., Фомичев М.Д. и др. Моделирование и расчет процесса теплообмена в башенных градирнях систем оборотного охлаждения ТЭС и АЭС. // Вестник ИГЭУ. – 2022. – № 3. – С. 57-63.

Содержание

<i>Секция 9. Атомные электрические станции</i>	3
<i>Секция 10. Теплообмен в промышленных установках</i>	45
<i>Секция 11. Безопасность жизнедеятельности в техносфере</i>	70
<i>Секция 12. Моделирование физических процессов</i>	90
<i>Содержание</i>	115

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ

Девятнадцатая всероссийская
(одиннадцатая международная)
научно-техническая конференция студентов, аспирантов
и молодых учёных
«ЭНЕРГИЯ-2024»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Печатается в авторской редакции

Составитель – Вольман М.А.

Подписано в печать __.__.2024. Формат 60x84 1/16.

Печать плоская. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л.

Тираж экз. Заказ №

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

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ

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