

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-2021»

ШЕСТНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ВОСЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

г. Иваново, 6-8 апреля 2021 года

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 2

ИВАНОВО

ИГЭУ

2021

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

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ // Шестнадцатая всероссийская (восьмая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2021»: Материалы конференции. В 6 т. Т. 2. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2021. – 100 с.

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

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

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

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель оргкомитета: проректор по научной работе **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., доцент **Вольман М.А.**

*А.И. Бакин, студ.; рук. В.Г. Работаяев, к.т.н., доц.;
(ИГЭУ, г. Иванов)*

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ ПАКЕТОВ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА РАБОТЫ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ АЭС

Регенеративный подогрев основного конденсата и питательной воды является важнейшим способом повышения экономичности АЭС. Процесс подогрева реализован с помощью системы регенеративных подогревателей, находящихся за конденсатором. При проектировании системы регенерации особое внимание уделяется вопросу оптимизации конструкций и режимов работы.

Для этого в настоящее время используются прикладные пакеты для решения инженерных задач, способные рассчитывать физические, термодинамические и прочие расчеты. Современные системы такие как COMSOL, ANSYS, позволяют использовать разнообразные численные методы для решения дифференциальных уравнений. При грамотном использовании функционала пакетов появляется возможность создать такую модель, которая будет обеспечивать достаточную точность, при минимальном времени её обчета.

Применение таких систем при проектировании оборудования для регенеративного подогрева позволяет:

1. Смоделировать режим работы оборудования при номинальной мощности, что позволяет найти оптимальные параметры для достижения максимального КПД.
2. Смоделировать режим работы при нерасчетных режимах для определения возможных последствий на оборудование, вызванных работой при данных режимах.
3. Полученные результаты помогут оптимизировать инструкции по эксплуатации системы регенеративного подогрева.

Применение программных пакетов для решения инженерных задач твердо закрепилось как инструмент для совершенствования конструкции подогревателей.

Планируется создание модели системы регенеративного подогрева для повышения экономичности, а также для создания на ее основе тренировочных моделей и учебных пособий для обучения специалистов.

Библиографический список

1. Назмеев, Юрий Гаязович. Теплообменные аппараты ТЭС., доп.—М.: Издательский дом МЭИ, 2007.—272 с:

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

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОБЛОКОВ 1000 МВт НА МОЩНОСТИ 104%

В последние годы на российских АЭС проводился цикл работ по обоснованию повышения эксплуатационной мощности энергоблоков с серийными реакторами ВВЭР-1000 до 104 % от номинальной.

Работы по освоению повышенного уровня мощности проводились в четыре этапа:

- 1) в процессе увеличения мощности реактора от МКУ до номинального уровня при пуске блока после перегрузки топлива;
- 2) на номинальном уровне мощности;
- 3) в процессе ступенчатого (по 1 % $N_{ном}$) повышения мощности реактора от 100 до 104 % $N_{ном}$;
- 4) в ходе освоения уровня мощности 104 % $N_{ном}$.

Особое внимание было уделено тепловым балансным испытаниям для подтверждения определения мощности реактора в различных эксплуатационных режимах с погрешностью менее 2 % $N_{ном}$, а также контролю распределения энерговыделения в активной зоне реактора.

Исследования в процессе ступенчатого (по 1 % $N_{ном}$) повышения мощности реактора от 100 до 104 % $N_{ном}$ ставили своей целью прежде всего проверку соответствия фактических параметров и характеристик оборудования и систем АС требованиям проекта и возможности совместной работы основного и вспомогательного оборудования реакторного и паротурбинного контуров при повышении уровня мощности со 100 % до 104 % $N_{ном}$. Особое внимание уделялось обоснованию безопасности при работе в статических и переходных режимах работы блока. Это касается как обеспечения надежного теплоотвода от активной зоны, так и работы основных регуляторов.

В результате проведения этих работ была подтверждена безопасная и надежная эксплуатация энергоблоков с ВВЭР-1000 на повышенном (104 % $N_{ном}$) уровне мощности.

Опыт эксплуатации энергоблоков в этих режимах показал непревышение допустимых эксплуатационных пределов как реакторной, так и паротурбинной установок, а также соответствие нейтронно-физических характеристик и параметров теплотехнической надежности активной зоны, теплогидравлических характеристик первого контура проектным показателям.

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

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

3D-моделирование - процесс формирования объёмных виртуальных моделей при помощи специализированных компьютерных программ. Трёхмерное моделирование сейчас очень популярно и используется во многих сферах. С помощью трёхмерного моделирования можно получить модель объекта, максимально приближённую к реальности, и, благодаря современным программам, достичь высокой степени детализации, значительно увеличив наглядность проекта. Естественно, что для тщательной проработки необходимо затратить гораздо больше времени, однако 3D-визуализация является более естественным способом визуализации [1].

Современные программные комплексы позволяют без особых затруднений вносить в трёхмерную модель практически любые изменения, что дает возможность корректировать проект на любом этапе создания, убирать одни детали и добавлять новые. Неоспоримым преимуществом является возможность автоматического создания классических двухмерных чертежей и формирование стандартного комплекта проектной документации.

Пакеты 3D-моделирования позволяют не только проводить непосредственно геометрическое моделирование, но и включают модули для выполнения базовых расчётов на прочность. Это позволяет оперативно оценивать надёжность оборудования и при необходимости вносить изменения в конструкцию ещё на этапе проектирования. Трёхмерные модели облегчают также разработку последовательности монтажа и сборки, все этапы этих процессов можно виртуально опробовать на 3D-модели [2].

Рассмотрев достоинства и недостатки, можно сделать вывод о том, что 3D-моделирование имеет массу преимуществ по сравнению с другими способами визуализации. Оно в большинстве случаев оправдывает трудоемкость создания моделей, открывая широкий диапазон возможностей использования полученной модели при дальнейшей работе.

Библиографический список

1. GRAND Soft. [Электронный ресурс]. – URL: http://grandsoft.ru/3d_modelirovanie_v_programmah.
2. **Малюх, В.Н.** Введение в современные САПР: Курс лекций. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 192 с.

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

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЫХОДА ВОДОРОДА ИЗ ВЫПАРНОГО АППАРАТА

В соответствии с основными положениями обеспечения безопасности атомных станций НП-001-15 получение лицензии на эксплуатацию реакторной установки требует обоснования безопасности, в связи с чем расчет выхода водорода из выпарного аппарата является актуальным.

Расчет, о котором пойдет речь, был выполнен на Кольской АЭС в декабре прошлого года для системы спецводоочистки СВО-3, но пока не выполнен для установок СВО-1 и СВО-2, из-за чего имеется ряд замечаний Ростехнадзора.

Целью расчета является нахождение значения концентрации водорода в паре и сравнение ее с взрывоопасным значением. Методика основана на радикально-диффузионной теории, которая в современном виде была сформулирована в США группами Р.Л. Платцмана и Дж. Маги. Основной постулат этой теории гласит: в результате действия излучения на воду образуются химически-активные частицы, реакциями которых друг с другом и с другими растворенными веществами определяются макроизменения воды.

В расчете определяется следующее:

1. Средняя поглощенная доза.
2. Оценочная скорость образования водорода под действием радиолиза.
3. Средняя поглощенная доза от излучения радиоактивных продуктов коррозии.
4. Скорость образования водорода в результате воздействия радиоактивных продуктов коррозии.
5. Суммарная скорость образования водорода в результате радиолиза.
6. Выход молекулярного водорода в паровую фазу.
7. Выход молекулярного кислорода в паровую фазу.
8. Массовые концентрации образующегося кислорода и водорода в паре.

Далее концентрационные пределы режимов горения и детонации водорода определяются по диаграмме Шапиро-Мюффети. Во всем расчете соблюдается консервативный подход: если необходимо взять значение какого-либо параметра из диапазона, выбирается значение, соответствующее наихудшему варианту развития событий.

В настоящее время существующие блоки АЭС должны соответствовать вновь вводимым требованиям безопасности. Для этого необходимы расчеты и обоснования того, что оборудование АЭС является безопасным для персонала, населения города-спутника и окружающей среды.

Библиографический список

1. Радиационная химия в ядерном топливном цикле. Учебное пособие под редакцией С.А.Кабакчи, Г.П. Булгаков. НИФХИ им. Л.Я. Карпова, РХТУ им. Менделеева. М., 1997.

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

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В НОВЫХ ПРОЕКТАХ РОССИЙСКИХ АЭС

Безопасность на атомной станции – одно из важнейших свойств для обеспечения защиты как сотрудников, так и окружающей среды от радиационного излучения, как во время нормальной работы, так и при возможных авариях.

Система безопасности современных российских АЭС представляют собой сложный комплекс защитных, локализирующих, обеспечивающих и управляющих систем, надежно защищающих от распространения ионизирующих излучений и радиоактивных веществ в окружающую среду как при нормальной работе, так и в аварийных ситуациях.

Это специальные системы аварийного расхолаживания, работающие по пассивному принципу. На АЭС с ВВЭР-1200 и АЭС с ВВЭР-ТОИ нашли применения 2 и 3-х ступенчатые системы гидроемкостей аварийного охлаждения активной зоны реактора, пассивные системы воздушного расхолаживания, которые позволяют в течение 72-х часов и более отводить тепло от реакторов. Эти системы и ряд других рассчитаны на обеспечение сохранности реактора и его активной зоны в случае максимальной проектной аварии – разрыва трубопроводов главного циркуляционного контура охлаждения реактора. Для предотвращения выхода продуктов деления за пределы АЭС современные энергоблоки снабжаются двойной защитной оболочкой, а также ловушками расплава под активной зоной – на случай возникновения так называемой запроектной аварии.

Предусмотрены системы и средства управления последствиями за проектных аварий, обеспечивающих локализацию радиоактивных веществ в пределах гермооболочки и позволяют минимизировать их последствия.

Кроме того, предусмотрен комплекс мер по защите АЭС от экстремальных внешних воздействий и террористических атак.

Особое внимание уделяется так называемому «человеческому фактору», который является первопричиной многих аварийных ситуаций. Для этого проводятся специальные противоаварийные тренировки с использованием современных компьютерных тренажеров и уделяется большое внимание «культуре безопасности».

Можно отметить, что современные российские проекты АЭС соответствуют «постфукусимским» требованиям.

*В.Е. Куришин, студ.; рук. В.Г. Работяев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХ ГЦН

Важным элементом реакторного отделения АЭС является главный циркуляционный насос (ГЦН), который обеспечивает циркуляцию теплоносителя в режимах нормальной эксплуатации. ГЦН разработан для работы при высоком давлении, но может работать и при низком – начиная с 2,0 МПа, что необходимо при пусковых операциях. Нормальное функционирование системы ГЦН должно обеспечивать режим длительной параллельной работы в контуре четырех ГЦН при нормальных и нерасчетных параметрах теплоносителя.

Допускается:

- длительная работа одного и параллельная работа двух и трех ГЦН в контуре при номинальных параметрах теплоносителя в стационарных режимах;
- работа одного, двух, трех и четырех ГЦН в контуре при изменении параметров теплоносителя в переходных режимах (разогрев, расхолаживание) при температуре от 20 до 300 °С на входе в насос, давлении от 0,98 (10) до 17,6 (180) МПа (кгс/см^2);
- работа одного, двух, трех и четырех ГЦН в контуре на холодном теплоносителе и в режиме дезактивации при температуре 20-100 °С;
- стоянка в режиме холодного и горячего резерва без ограничения времени при условии подачи запирающей и охлаждающей воды промежуточного контура и работы насоса аварийной системы запирающей воды.

При эксплуатации ГЦН оперативный персонал должен знать: конструкцию оборудования системы ГЦН; возможные режимы работы ГЦН; технологические схемы системы ГЦН; защиты, блокировки, сигнализацию, управление системой; контролируемые параметры системы; инструкцию по эксплуатации системы ГЦН.

Для реализации последней из перечисленных задач необходимы учебно-методические пособия. Например, компьютерные пособия. Примером реализации таких работ может послужить изучение инструкций с разбором схем, работа с анимационными фрагментами инструкций, работа с локальными тренажерами и др. В этой работе предлагается разработка локальных тренажеров по режимам работы системы ГЦН, а именно разработка «живых» схем, на которых отражается последовательность действий при изменении различных параметров. Тренажер разрабатывается в программе АТТЕСТАТ.

Библиографический список

- 1. П. Н. Пак, А. Я. Белоусов, С. П. Пак.** Насосное оборудование атомных станций. М.: Энергоатомиздат, 2003.
- 2. А.Г. Ильченко.** Переходные и нестационарные процессы в ядерных реакторах. Иваново, Иван. гос. энерг. ин-т, 2000.

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

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ТВЭЛА

Твэл представляет собой герметичную трубку из сплава циркония с ниобием, которую заполняют таблетками из двуокиси урана. Была построена осесимметрическая модель, решенная на основе уравнения теплопроводности в двумерной постановке задачи с внутренним источником тепловыделения при граничных условиях (ГУ) II рода на торцах твэла и ГУ III рода на боковой поверхности стержня. В соответствии с требованиями безопасности эксплуатации ядерного реактора, были учтены ограничения по максимальной температуре топлива (1963 К) и оболочки (623 К). Проведено исследование влияния переменных теплофизических свойств материалов на скорость наступления, описанных выше ограничений.



Рис. 1. Зависимость скорости наступления ограничений максимальной температуры оболочки твэла от удельной мощности тепловыделений: 1- максимальная температура оболочки; 2- при постоянных свойствах; 3 - при переменных свойствах.

Выяснено, что наступление ограничений при переменных свойствах происходит раньше, как показано на рис.1. Если при постоянных свойствах ограничения срабатывают при удельной мощности тепловыделения 764,1 и 759,31 МВт/м³, то при переменных свойствах 706,4 и 482,2 МВт/м³ для температуры топлива и оболочки соответственно. Можно сделать вывод, что при расчете параметров температурных полей необходимо учитывать переменность свойств.

Библиографический список

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

*И.И. Константинов, М.Р. Леденцов, студ.; рук. А.Г. Ильченко, к.т.н.,
доцент. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛООВОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ НА АЭС С ВВЭР

Привлечение АЭС к регулированию электрических нагрузок энергосистемы без изменения мощности реактора возможно при использовании системы теплового аккумулирования (САТЭ).

Наиболее проработанными являются варианты САТЭ с использованием аккумулирования горячей воды – например, с аккумуляторами питательной воды (АПВ) вытеснительного типа.

В ночной период, когда потребление электроэнергии снижается, производится заряд аккумуляторов путем дополнительного отбора пара из турбоустановки АЭС в пиковый контур. При этом снижается электрическая мощность энергоблока АЭС. В часы утреннего и вечернего пиков энергопотребления производится разряд аккумуляторов с увеличением мощности турбины сверх номинальной. На энергоблоках с ВВЭР-1000 при использовании АПВ можно получить дополнительную пиковую мощность в размере $100 \div 200$ МВт при стоимости пиковой электроэнергии меньшей, чем при использовании специализированных пиковых ГТУ. Однако высокооборотные турбины АЭС мощностью 1000 – 1200 МВт имеют ограниченную пропускную способность ЦНД, что препятствует реализации этих схем.

Другой проблемой, которая требует решения, является энергообеспечение ответственных потребителей АЭС (в частности, аварийных питательных насосов) при полном обесточивания станции.

Предложено использовать САТЭ с аккумуляторами тепла фазового перехода (АФП) и с дополнительной сателлитной турбиной относительно небольшой мощности. В нормальном режиме САТЭ работает в режиме заряд-разряд, обеспечивая выработку дополнительного количества в дневной период. В режиме полного обесточивания станции, при наличии запасенной тепловой энергии в САТЭ, происходит разряд АФП с выработкой пара, поступающего в сателлитную турбину мощностью 12 МВт, которая обеспечивает энергоснабжение систем расхолаживания и энергоснабжение ответственных потребителей. В случае полного разряда АФП сателлитная турбина снабжается сбросным паром из парогенератора. Это позволит обеспечить отвод остаточных тепловыделений от реакторов двух энергоблоков в течение 72-х часов.

*В.Е. Крюков, А.Д. Козлов, студ.; рук. А.Г. Ильченко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ОТ АТОМНЫХ ИСТОЧНИКО ТЕПЛА

Такие потребители как промышленные и коммунально-бытовые потребляют наибольшую часть топливно-энергетических ресурсов страны. Общая потребность в теплоте предприятий промышленной отрасли многократно превосходит потребность в теплоте жилищно-коммунальной части городов. Жилищно-коммунальные секторы городов могут быть полностью удовлетворены одним видом теплоносителя – горячей водой. Однако отрасль промышленности имеет потребности в теплоносителях различного вида и потенциала.

Выше приведенные данные показывают, что найти решение какой-либо одной из важнейших задач современной энергетики, например снижения доли органического топлива в топливно-энергетическом балансе страны заменяя его ядерным топливом, можно лишь тогда, когда атомные источники будут реализованы не только в производстве электроэнергии и в удовлетворении нужд коммунальных потребителей теплом, но и удовлетворяя промышленных потребителей тепловой нагрузкой.

Разработка и реализация таких проектов как атомных теплоэлектроцентралей (АТЭЦ), атомных станций теплоснабжений (АСТ) и атомных теплофикационных установок (АТФУ) решают проблему теплоснабжения от атомных источников тепла потребителей, потребность которых в тепловой энергии удовлетворяется за счет горячей воды. Атомные источники тепла с экономической эффективной точки зрения обеспечивают теплом потребителей в большом диапазоне тепловых нагрузок. Намного сложнее обеспечивать промышленные предприятия теплотой, использующих пар в качестве теплоносителя. Недопустимость отпуска пара от атомных электрических станций традиционным способом зависит от ряда факторов таких как удаленность от центров потребления, требованиями ядерной безопасности и особенностями транспортировки пара. Эффективными могут оказаться системы дальнего транспорта тепла для теплоснабжения от АИТ крупных городов при использовании повышенных температурных графиков.

*М.Н. Мечтаева, аспирант; рук. В.А. Горбунов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНДЕНСАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ АЭС

В настоящее время актуальным является вопрос повышения эффективности эксплуатации атомных электростанций, в связи с чем АО «Концерн Росэнергоатом» внедрил систему энергетического менеджмента [1]. Одним из способов повышения эффективности является экономия ресурсов, затрачиваемых на собственные нужды станции.

В этой связи целесообразным является проведение анализа возможности повышения энергетической эффективности одной из систем-потребителей энергии собственных нужд, а именно вакуумной системы. При проведении анализа была разработана, обучена и верифицирована нейросетевая модель конденсационной установки 1000КП-100800-3, которая предназначена для работы в составе турбоустановки мощностью 1000 МВт с турбиной К-1000-60/1500-2. В качестве целевой функции выбрана активная мощность турбогенератора.

Разработанная нейросетевая модель обладает высоким коэффициентом корреляции. Путем исследования были выявлены оптимальные значения технологических параметров, которые возможно регулировать на текущем этапе, либо их регулирование теоретически возможно:

- уровень конденсата в конденсаторе;
- давление пара в конденсаторе;
- температура цирк.воды на входе в конденсатор;
- расход цирк.воды на конденсатор.

В ходе исследования средний энергетический эффект составил 14,9 МВт, а предельное его значение достигало 25,29 МВт, что составило 2,59% от текущей мощности энергоблока.

Методика может быть применена для анализа работы оборудования в реальном времени, а также для разработки наиболее экономичных режимов его работы, что в свою очередь, способствует повышению эффективности эксплуатации энергоблока и энергосбережению, что требует приказа о системе энергетического менеджмента [1].

Библиографический список

1. Приложение к приказу АО «Концерн Росэнергоатом» от 02.04.2020 № 9/01/517-П «Система энергетического менеджмента АО «Концерн Росэнергоатом».

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

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ И РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ НА КОЛЬСКОЙ АЭС

Ядерный топливный цикл (ЯТЦ) содержит все методы получения топлива для ядерных реакторов, подготовки его к использованию и захоронения отработавшего топлива. Уран – основное ядерное топливо для современных реакторов. Поэтому все этапы ЯТЦ определяются физико-химическими свойствами этого элемента.

Процесс состоит из: добычи ядерного топлива в виде концентрата окиси урана U_3O_8 ; переработки и обогащения урана – повышения содержания изотопов U-235; формирования тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов), объединяющихся в топливные сборки (ТВС); хранения отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) в бассейнах под водой; рециркуляции ОЯТ (закрытый ЯТЦ) или захоронения (открытый ЯТЦ). [1]

При обращении с ядерным топливом и радиоактивными отходами важно обеспечить надежную защиту персонала и общественности от воздействия ионизирующего излучения сверх уровней, установленных нормами радиационной безопасности.

Радиационный контроль - получение информации о радиационной ситуации на предприятии и в его регионе, параметрах радиации технологических процессов и дозах радиации персонала и населения. [2]

В данной работе рассмотрена автоматизированная система радиационного контроля (АСРК) УДКС - 01 «Пеликан», используемая на Кольской АЭС. Система предназначена для автоматического непрерывного контроля: измерения уровня радиоактивного загрязнения, мощности эквивалентной дозы гамма- и нейтронного излучения, объемной активности альфа-и бета-излучающих аэрозолей и бета-излучающих радиоактивных газов. [3]

Библиографический список

1. В.С. Малышевский. Методические указания к курсу "Ядерная физика и элементарные частицы" для студентов физического факультета. Часть 2. Ядерный топливный цикл // РГУ (Ростов-на-Дону). — 2003. — № от 2004-04-05. — С. 28 с.
2. Обеспечения безопасности при обращении с радиоактивными отходами (РАО). [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://fireman.club/conspects/tema>, свободный – (26.02.2021).
3. Автоматизированная система радиационного контроля УДКС-01 «Пеликан» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.doza.ru/catalog/systems/422/>, свободный – (26.02.2021).

*Д.И. Новиков, студ.; Е.Д. Ермоленко, студ.; Н.В. Герман, студ.;
рук. В.В. Андреев, д.т.н., проф.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)*

ТЕПЛООБМЕН В ГАЗОНАСЫЩЕННОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕ ЯЭУ

Опыт эксплуатации судовых ядерных энергетических установок (ЯЭУ), описанный сотрудниками АО ОКБМ «Африкантов» в статье [1] показывает, что для достижения высокого уровня экономической эффективности и надёжности необходимо решить ряд проблем, связанных с конструкционными материалами и штатными системами реакторной установки (РУ).

В рамках проектирования перспективной РУ проблемы с конструкционными материалами и химические процессы в них были решены, в то время как проблема, связанная со штатной системой газовой компенсации объема (СКО), была решена консервативным путем повышения параметров теплоносителя первого контура.

Суть проблемы – насыщение теплоносителя газом из системы компенсации и дальнейшее его неравновесное выделение на различных участках циркуляционного тракта. Выделение газа на обогреваемых поверхностях, в том числе на ТВЭЛах приводит к интенсивной коррозии и снижению критических тепловых потоков. Обобщение экспериментальных данных и теоретическая выкладка по данному вопросу приведена в труде Бараненко и Асмолова [2]. Однако решение конструкторов в вопросе газовой СКО не предполагает разрешения проблемы научным методом.

Для дальнейшего рассмотрения вопроса и обоснования теплотехнической надёжности при использовании газовой СКО был разработан экспериментальный стенд с проточным компенсатором объема. Первая серия экспериментов показала, что при температурах, близких к температуре насыщения, в газонасыщенном теплоносителе возникает пульсация температуры обогреваемой поверхности, в отличие от процесса в дегазированном теплоносителе.

Библиографический список

1. Зверев Д.Л., Пахомов А.Н., Полуничев В.И., Вешняков К.Б., Кабин С.В. Реакторная установка нового поколения РИТМ-200 для перспективного атомного ледокола // Атомная энергия. — 2012. — Т. 113, вып. 6. — С. 323-328.
2. Бараненко, В. И. Термодинамика и теплообмен в ЯЭУ с газонасыщенным теплоносителем / В. И. Бараненко, В. Г. Асмолов, В. С. Киров. — Москва : Энергоатомиздат, 1993. — 272 с..

*Д.Н. Орлов, студ.; рук. М.А. Вольман, к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Обеспечение безопасности – является главной эксплуатационной задачей на атомной станции. Основными причинами аварийных и нештатных ситуаций являются: отказы и неисправности оборудования, ошибки персонала при эксплуатации. Вторая причина устраняется совершенствованием и оттачиванием умений персонала на учебных тренажерах различных видов, поэтому их разработка является актуальной темой.

В атомной энергетике тренажеры начали использоваться для подготовки персонала в 60-е и 70-е годы. В настоящее время практически все АЭС в России имеют в своём распоряжении тренажеры для поддержания и повышения квалификации оперативного персонала [1].

Целью данной работы является анализ и систематизация данных о тренажеростроении в атомной энергетике.

Для этого были проанализированы отечественные компании-разработчики, производящие тренажеры различных направлений и типов, федеральные нормы и правила, устанавливающие требования при разработке новых тренажеров и отечественны тренажеры, которые функционируют в настоящее время как в России, так и за рубежом.

Было уделено внимание и опыту зарубежных разработчиков. Рассмотрены импортные тренажеры, используемые на российских АЭС, история появления и развития тренажеров в иностранных государствах, структура обучения на тренажерах в других странах, национальные стандарты (ANSI/ISO) и типы разрабатываемых тренажеров [2].

Также были рассмотрены проблемы связанные с разработкой на начальном этапе развития индустрии тренажеростроения и мероприятия, проводимые для их решения.

Библиографический список

1. Н.С. Королёва «Сегодня тренируем. А завтра?». [Электронный ресурс] / Н.С. Королёва // Журнал «Атомная стратегия». – 2005. – №19. Режим доступа: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=269> , свободный – (дата обращения: 12.02.2021).
2. Тренажеры электрических станций и сетей. НПО Энергобезопасность «Тренажеростроение в России и за рубежом» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://testenergo.ru/simulator-making-in-russia-and-abroad/> , свободный – (дата обращения: 12.02.2021).

*А.Н. Пронин, Д.В. Доронков, соискатели; Д.С. Доронкова, аспирант;
рук. С.М. Дмитриев, д.т.н., профессор
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТВС РЕАКТОРОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

В России в 2020 году введена в эксплуатацию первая в мире плавучая атомная электростанция. Активная зона ядерного реактора плавучей атомной электростанции включает в себя набор шестигранных чехловых тепловыделяющих сборок с цилиндрическими стержнями, шаг расположения которых обеспечивается посредством пластинчатых дистанционирующих решеток.

В НГТУ им. Р.Е. Алексеева проведен комплекс экспериментальных исследований гидродинамики теплоносителя в ТВС реакторной установки первой в мире плавучей атомной электростанции «Академик Ломоносов». Исследования проводились на аэродинамическом стенде [1] на масштабной модели ТВС, выполненной в полном геометрическом подобии.

Основные результаты экспериментальных исследований состоят в следующем:

– спроектирована и изготовлена экспериментальная модель, разработаны методики проведения экспериментальных исследований, сбора и обработки экспериментальных данных;

– получена зависимость коэффициента гидравлического сопротивления дистанционирующей решетки от числа Рейнольдса, а также данные о распределении осевой скорости по ячейкам ЭМ.

Полученные результаты могут быть использованы в качестве базы данных для:

– верификации и усовершенствования программ ячейкового расчета активных зон реакторов;

– адаптации современных трехмерных CFD-программ к расчетам локальных гидродинамических характеристик теплоносителя в ТВС ядерных реакторах.

Библиографический список:

1. Дмитриев С.М., Варенцов А.В., Доронков Д.В., Пронин А.Н., Солнцев Д.Н., Хроботов А.Е., Сухарев Ю.П. Экспериментальные исследования гидродинамики потока теплоносителя за дистанционирующей и перемешивающей решетками ТВСА-12PLUS реактора ВВЭР-1000. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов, 2017, №1, с.126-134

*Д.В. Пыхтин, студ.; рук. А.В. Морозов, д.т.н., доц.
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск)*

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОТВОДА ТЕПЛА ОТ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОВОЗДУШНОГО АЭРОЗОЛЯ

В современных проектах АЭС достаточно широко применяется теплообменное оборудование, в котором в качестве конечного поглотителя тепла выступает окружающий воздух. В этом случае теплообмен осуществляется за счет естественной конвекции, при этом интенсивность процессов передачи тепла крайне мала.

Для повышения эффективности процесса охлаждения оборудования АЭС было предложено применение в роли конечного поглотителя тепла водовоздушного аэрозоля [1]. В работе [2] оценено количество жидкой дисперсной фазы, которое потребуется для сохранения мощности теплообменников системы пассивного отвода тепла при уменьшении их теплопередающей поверхности на 20 %.

В рамках проведения исследований были изучены работы, в которых:

1. Рассмотрена возможность подачи водного аэрозоля для интенсификации теплообмена к воздуху в сухих градирнях АЭС и ТЭС.
2. Обнаружена зависимость между коэффициентом теплопередачи и влажностью водовоздушного аэрозоля и определено влияние состояния смачивания теплообменной поверхности.

Целью данной работы является анализ современного состояния дел в области исследований, направленных на повышение эффективности работы оборудования АЭС за счет применения водовоздушного аэрозоля и расчетная оценка степени повышения эффективности теплообмена при условии практического внедрения данной технологии в системе пассивного отвода тепла ВВЭР.

Библиографический список

1. **Abed A.H., Shcheklein S.E., Pakhaluev V.M.** Experimental investigation of hydrodynamics and heat transfer of sphere cooling using air/water mist two phase flow // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. V. 552. 2019. 012001.
2. **Смирнов А.М., Морозов А.В.** Анализ возможности повышения эффективности работы воздушных теплообменников СПОТ ВВЭР при использовании для их охлаждения водовоздушной смеси // Тезисы докладов XV Международной научно-практической конференции «Будущее атомной энергетики – AtomFuture 2019». Обнинск. 2019. Т. 1. С. 72-73.

*Д.Н. Романов, студ.; рук. М.А. Вольман, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКОСОЛЕВОГО РЕАКТОРА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ОБЪЕМОВ ДОЛГОЖИВУЩИХ ОТХОДОВ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Учитывая постоянно увеличивающиеся темпы развития ядерной энергетики, во многих странах, в том числе и России, остро стоит вопрос обращению с радиоактивными отходами. Несмотря на важность переработки отработавшего ядерного топлива большинство государств предпочитают отложить окончательное решение вопроса по его утилизации на неопределенный срок.

На сегодняшний день на объектах Госкорпорации «Росатом» накоплено, в общей сложности, 22 тыс. т ОЯТ. Ежегодно из реакторов отечественных АЭС выгружается примерно 650 т отработавшего топлива[1], существенной долей которого являются высокоактивные долгоживущие минорные актиниды: нептуний (Np-237), америций (Am-243), кюрий (Cm-245). Решением проблемы утилизации данных изотопов является их дожигание до состояния короткоживущих радионуклидов или стабильных изотопов в специализированной установке – ядерном реакторе на расплавах солей.

Жидкосольевые реакторы представляют собой гомогенные реакторы низкого давления с охлаждающей жидкостью в виде смеси расплавленных солей, способной работать при высоких температурах, а также растворенного в ней переработанного ядерного топлива реакторов на тепловых нейтронах, включающего минорные актиниды.

Помимо производства электроэнергии и дожигания долгоживущих радиоактивных отходов следует отметить использование жидкосольевых реакторов в качестве реакторов-размножителей, а к основным их достоинствам отнести высокий термодинамический КПД, возможность организации непрерывного подвода ядерного топлива и удаления продуктов его деления, отсутствие ограничений по глубине выгорания топливной композиции, слабое взаимодействие расплавов солей с водой.

В настоящее время работы по созданию реакторов на расплавах солей ведутся в Канаде, США, России. Внедрение в промышленную эксплуатацию может поспособствовать замыканию ядерного топливного цикла и разрешить вопрос утилизации РАО.

Библиографический список

1. Проблемы обращения с ОЯТ в России и перспективы их решения [Электронный ресурс]. URL: <https://www.atomic-energy.ru/articles/2015/04/01/55910>

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

АНАЛИЗ ДАННЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СХЕМ И СРАВНЕНИЕ ИХ С НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛЬЮ

В современном мире для решения различных технических задач специалисты в любой сфере деятельности сталкиваются с решением различных технических задач. Так и специалист атомной отрасли не будет являться исключением из правил, которому так же приходится сталкиваться с рядом проблем. Эти проблемы могут быть связаны с проектированием новых и эксплуатацией действующих теплогидравлических установок, которые так же требуют незамедлительных решений. Внедрение нейронных сетевых технологий в атомную промышленность позволит оптимизировать действующее оборудование за счет точного определения проблемных зон и устранения их недостатков.

Для достижения поставленной цели выделяют несколько этапов:

I. Начальный этап:

1. Создание схемы конструктивного элемента АЭС в САПР;
2. Создание аксонометрических схем выбранного элемента;
3. Обработка, анализ и расчет данных полученных с АЭС.

II. Работа с программой по созданию нейронной сети:

1. Постановка задачи и выбор архитектуры нейронной сети;
2. Определение количественного и качественного составов входов и выходов;
3. Формирование исходной выборки данных;
4. Предварительная обработка и нормализация исходной выборки;
5. Разделение исходной выборки на обучающую и тестовую составляющие;
6. Определение структуры нейронной сети;
7. Настройка параметров нейронной сети и алгоритма ее обучения;
8. Обучение нейронной сети;
9. Контрастирование нейронной сети;
10. Тестирование нейронной сети;
11. Практическое использование;
12. Дообучение нейронной сети.

Работа является весьма актуальной и перспективной для повышения технико-экономических показателей. В настоящее время была выполняется начальная стадия работы, а именно создание конструктивных и аксонометрических схем.

Библиографический список

1. **Горбунов В. А.** Использование нейросетевых технологий для повышения энергетической эффективности теплотехнологических установок. Научное издание. ПресСто, 2011.- 476с.

*А.В. Рязанов, студ.; С.А. Мартыненко, асп.;
рук. А.Е. Хробостов, к.т.н., доц.
(НГТУ им. Р.Е.Алексеева, г. Н.Новгород)*

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ В РУ ВВЭР

В настоящее время существует тенденция по повышению требований к показателям безопасности новых проектов АЭС. По инициативе МАГАТЭ были изменены требования к продолжительности поддержания реакторной установки в безопасном состоянии после аварии, связанной с полным обесточиванием энергоблока.

Максимально запроектная авария РУ ВВЭР с полной потерей энергообеспечения приводит к отключению всех ГЦН, и, как следствие, к прекращению нормального отвода тепла от активной зоны, что может привести к её деградации. Проектом ВВЭР-ТОИ предусмотрен отвод остаточных тепловыделений при полном обесточивании энергоблока за счет естественной циркуляции по контурам СПОТ-ПГ. Но при этом технически сложной задачей является удаление неконденсируемых газов из значительного количества труб различного теплообменного оборудования. При развитии такой аварии активные элементы системы газоудаления снабжаются электропитанием от аккумуляторных батарей, емкость которых рассчитана на несколько часов работы. После разряда батарей, электроприводные арматуры остаются в закрытом положении и управляемый сброс парогазовой смеси более невозможен.

В данной работе в качестве автономного источника электроэнергии рассматривается применение термоэлектрических генераторов. Идея заключается в том, чтобы использовать остаточные тепловыделения реактора как горячий источник термоэлектрического генератора для получения электроэнергии и заполнения аккумуляторных батарей. Потенциально такая система может обеспечить функционирование системы аварийного газоудаления в течение 72 часов, что соответствует современным требованиям МАГАТЭ. Система, основанная на применении термоэлектрических генераторов, обладает рядом преимуществ перед традиционными механическими: полная автономность, отсутствие движущихся частей, малая инерционность, что способствует повышению надежности системы. На текущий момент одной из главных задач является определение оптимального места установки термоэлектрических генераторов по пути трубопроводов СПОТ-ПГ.

*А.М. Самойлов, С.А. Чесноков, студ.; А.А. Сатаев, асп.;
рук. В.В. Андреев, д.т.н., проф.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПРОЦЕССЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

В настоящее время важность ядерных энергетических установок (ЯЭУ) приобретает всё большую роль, а значит и требования к их безопасности и прочностным характеристикам используемого оборудования становятся выше с каждым годом. В основе проектирования любой ЯЭУ особо важную роль выполняет способ реализации циркуляции теплоносителя по гидравлическому тракту. Наиболее распространённый способ осуществления движения теплоносителя – использование циркуляционных насосов различных типов.

Естественная циркуляция (ЕЦ) [1], [2] является перспективным способом обеспечения переноса теплоносителя. В действующих ЯЭУ ЕЦ используют в качестве системы аварийного расхолаживания активной зоны, но её уровень не превышает 10-14% от номинального уровня циркуляции главных циркуляционных насосов. Использование ЕЦ позволяет компенсировать многие недостатки насосных установок: большие уровни шумов, вибрации, кавитацию. В связи с простой технологичностью, ЕЦ косвенно увеличивает прочностные показатели всей установки в целом, а значит и увеличивает безопасность. В виду описанных преимуществ, для изучения процессов протекания ЕЦ была проделана теоретическая и экспериментальная работа.

Для этого был спроектирован экспериментальный стенд, представляющий собой простую петлевую трассу циркуляции, состоящую из накопительной ёмкости, обогреваемого и холодильного участков, а также системы, позволяющей раскачивать модель по гармоническому закону, что дает возможность моделировать поведение судовой ЯЭУ в реальных условиях.

В ходе работы была создана математическая модель, описывающая протекание ЕЦ, получена гидравлическая характеристика канала. Экспериментальные данные были обработаны и представлены графически.

Библиографический список

1. Нестационарные режимы судовых ядерных паропроизводящих установок / Ф. М. Митенков, Б. И. Моторов; Под ред. д-ра техн. наук, проф. И. И. Африкантова. - Ленинград: Судостроение, 1970. – 199
2. Процессы генерации пара на атомных электростанциях / Л. Ф. Федоров, Н. Г. Рассохин. / М: Энергоатомиздат, 1985 — С. 131 – 153.

Н.М. Сидоров, И.А. Степанов, студ.;
рук. Е.Д. Федорович, д.т.н., проф. (
СПбПУ, г. Санкт-Петербург)

К ВОПРОСУ ОБ ОБРАЩЕНИИ С ОБЛУЧЁННЫМ ГРАФИТОМ УРАН-ГРАФИТОВЫХ РЕАКТОРОВ

На текущий момент в России находится 4 энергоблока АЭС с уран-графитовыми реакторами, находящиеся на стадии вывода из эксплуатации (ВЭ). В ближайшие десятилетия все энергоблоки данного типа будут остановлены, что приведёт к образованию значительного объёма радиоактивных отходов (РАО), большая часть которых представляет собой облучённый графитовый замедлитель (ОГ) II класса РАО, требующих захоронения в глубинных геологических формациях.

В настоящее время необходимо разработать стратегию по обращению с данными радиоактивными материалами, которая обеспечит минимизацию экологических и экономических рисков на протяжении всего процесса ВЭ, а также после него в течение десятков и сотен лет.

Рассматриваются концепции, связанные со сжиганием ОГ, но они подвергаются значительной критике – улавливание $C^{14}O_2$ будет сопровождаться образованием вторичных РАО, что сказывается на эколого-экономических аспектах ВЭ [1]. Предложения по захоронению ОГ на месте, являются нерациональными с точки зрения биологической активности углерода и его возможного включения в биосферу региона нахождения объекта ВЭ [2].

Наиболее рациональным вариантом является предварительная обработка ОГ для снижения класса РАО с последующим захоронением вне площадок АЭС. Вопрос о способе захоронения ОГ связан с классом РАО, к которому будет относиться ОГ после переработки, его концентрированием, обеспечением долговременной изоляции радионуклидов в матрице РАО, дальнейшей транспортировкой до потенциального места захоронения, а также с наличием сертифицированного парка контейнеров для ОГ, удовлетворяющих требованиям радиационной безопасности.

Библиографический список

- 1. Сидоров Н.М., Новикова О.В., Могельницкая Я.А., Харитоновна Е.В.** Экологические аспекты обращения с облучённым графитом уран-графитовых реакторов. Современные технологии и экономика в энергетике (МТЭЕ – 2020). Материалы международной научно-практической конференции. Издательство: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, СПб., 2020 – с. 96-98;
- 2. Муратов О.Э.** Проблемы обращения с облученным графитом при выводе из эксплуатации уран-графитовых реакторов. Журнал «Атомная стратегия XXI», №166, сентябрь 2020. – 3-5 с.

*А.М. Смирнов, асп.; рук. А.В. Морозов, д.т.н., профессор
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОРСУНОК ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОПТИМИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ПАССИВНОГО ОТВОДА ТЕПЛА ВВЭР, ОХЛАЖДАЕМОЙ ВОДНЫМ АЭРОЗОЛЕМ

Интенсивный рост конкуренции на рынке атомных технологий, наблюдаемый в последние годы, а также ориентация ГК «Росатом», в первую очередь, на экспорт приводит к необходимости рассмотрения вариантов оптимизации основного и вспомогательного оборудования с целью сокращения капитальных затрат при сооружении АЭС.

В связи с этим, в [1] был предложен способ оптимизации системы пассивного отвода тепла (СПОТ), используемой в современных проектах ВВЭР. В состав данной системы входят восемь крупногабаритных теплообменников с оребренными трубами, охлаждаемые воздухом. Способ оптимизации заключался в уменьшении площади трубного пучка с целью сокращения стоимости системы. При этом для сохранения проектной мощностью характеристики необходимо обеспечить впрыск мелкодисперсного водного аэрозоля. Также для обоснования данной концепции в [1] была проведена расчётная оценка эффективности данного метода с использованием соотношений, приведенных в [2].

Целью данной работы является более детальная проработка предложенного способа оптимизации, заключающаяся в выборе устройств для распыления жидкости. В данной работе были проанализированы различные типы форсунок и определены их основные характеристики для использования в оптимизированной СПОТ. Были рассмотрены различные варианты их размещения для достижения максимальной эффективности теплоотдачи.

Библиографический список

1. Абед А.Н., Щеклеин С.Е., Пахалуев В.М. Интенсификация теплообмена воздушных теплообменников аварийного расхолаживания и сухих градирен АЭС с использованием водо-воздушного аэрозоля (тумана) // Сборник тезисов докладов к XV Международной конференции «Безопасность АЭС и подготовка кадров». - Обнинск, 2018. С. 85-86.
2. Смирнов А.М, Морозов А.В. Оценка эффективности использования водного аэрозоля для охлаждения воздушных теплообменников СПОТ ВВЭР // Сборник докладов XXI Международной конференции молодых специалистов по ядерным энергетическим установкам. - Подольск, 2019. С. 125-133.

*Д.Е. Смирнов, студ.; рук. А.В. Морозов, д.т.н., доц.
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск)*

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ПО КРИЗИСУ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ

Критический тепловой поток (КТП) является важным параметром, который ограничивает максимальную мощность тепловыделяющих элементов активных зон ядерных реакторов.

Одним из перспективных инструментов для прогнозирования и анализа КТП при кипении теплоносителя являются искусственные нейронные сети.

В настоящее время предложено несколько методов использования искусственных нейронных сетей для прогнозирования величины критического теплового потока:

– метод прогнозирования КТП с использованием нечеткой кластеризации с-средних и нейронной сети с обратным распространением [1];

– метод исследования возникновения кризиса теплообмена с помощью пространственно-временной нейронной сети (STN) и вейвлет-преобразования [2];

– метод прогнозирования величины КТП с использованием нечеткой кластеризации с-средних и генетической нейронной сети (GNN) [3];

– прогнозирование возникновения кризиса теплообмена с использованием CFD моделирования [4].

В работе проведено сравнение различных методов интеллектуального анализа экспериментальных данных с применением нейронных сетей, используемых для предсказания величины критического теплового потока.

Библиографический список

1. **Sang Ki Moon, Soon Heung Chan** Classification and prediction of the critical heat flux using fuzzy theory and artificial neural networks // Nuclear Engineering and Design, V. 150, pp. 151-161, 1994.
2. **Soo Hyoung Kim, et al.** CHF detection using spationtemporal neural network and wavelet transform // Int. Comm. Heat Mass Transfer, V. 27, No. 2, pp. 285-292, 2000.
3. **Huiming Wei, et al.** Applications of genetic neural network for prediction of critical heat flux // International Journal of Thermal Sciences, V. 49, pp. 143-152, 2010.
4. **M.A. Habib, et al.** Current status of CHF predictions using CFD modeling technique and review of other techniques especially for non-uniform axial and circumferential heating profiles // Annals of Nuclear Energy, V. 70, pp. 188-207, 2014.

*К.В. Стаценко, студ.; рук. М.А. Вольман, к.т.н., доц.;
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТЭЦ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

Атомная теплоэлектроцентраль предназначена для производства электрической энергии и тепла в виде пара и горячей воды. В настоящее время в России же действует только одна атомная теплоэлектроцентраль – Билибинская АЭС. В начале 2000-х планировалось создание атомной теплоэлектроцентрали в Рикасихе (Приморский район Архангельской области) для обеспечения теплом и электроэнергией Архангельска, Северодвинска и Новодвинска, но эти планы не осуществились. За всю историю развития энергетики в СССР и России была прекращена разработка и строительства огромного числа атомных теплоэлектроцентралей. Внедрение ядерной энергетики в сферу производства низкопотенциального тепла для отопления и горячего водоснабжения обусловлено стремлением снизить долю расхода органического топлива и тем самым внести вклад в решение экологической проблемы, связанной с загрязнением атмосферы и нагревом водоемов

В связи с этим как одно из направлений атомной теплофикации начали рассматривать возможность использования АЭС для теплоснабжения городов и агломераций, что определялось следующими соображениями:

1. теплоснабжение от АЭС можно осуществить в сжатые сроки и быстрее начать вытеснение органического топлива;
2. АЭС являлись новыми источниками и располагали значительными возможностями к совершенствованию и форсированию тепловой мощности реакторов;
3. при теплоснабжении от АЭС совпадали сроки службы станции и транзитных теплопроводов, в то время как действующие КЭС на органическом топливе, также возможные источники теплоснабжения, значительно выработали свой ресурс. Кроме того, КЭС должны были участвовать в покрытии переменных электрических нагрузок энергосистем;
4. использование АЭС для теплоснабжения улучшало экологическую обстановку городов.

Строительство АТЭЦ в России имеет множество положительных сторон, но ввиду определённых обстоятельств, в число которых входит авария на Чернобыльской АЭС, строительство многих АТЭЦ было либо приостановлено, либо и вовсе отменено. Кроме того, строительству станций мешает масштабная программа отказа от ядерной энергии во многих странах.

Библиографический список

1. Лосев, В.Л. Использование атомной энергии для централизованного теплоснабжения в странах СЭВ / М.В. Сигал, Г.Е. Солдатов. – Бюллетень МАГАЕЭ, 3/1989.

Д.А. Тихомиров, студ.; рук. М.А. Вольман, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НЕКОНДЕНСИРУЮЩИХСЯ ГАЗОВ НА КОНДЕНСАЦИЮ ПАРА В КОНДЕНСАТОРЕ

Конденсационная установка необходима для получения чистого конденсата путём конденсации отработавшего пара в турбине. Процесс конденсации совершается за счет отвода теплоты конденсации от пара при постоянном давлении. В связи с этим встает вопрос о повышении КПД данного процесса.

В настоящее время особое внимание уделяется следующим основным параметрам: давление в конденсаторе, площадь поверхности теплообмена, кратность охлаждения. КПД повышается изменением направления движения сред, количеством направлений.

Поступающий в конденсатор из турбины пар зачастую содержит воздух, который попадает в турбину через неплотности фланцевых соединений, через концевые уплотнения, неплотности соединения выходного патрубка турбины и входным патрубком конденсатора. Паровоздушная смесь из парового пространства конденсатора отсасывается воздушным насосом. Однако чтобы добиться наибольшего вакуума необходимо использовать насосы больших мощностей, а это дополнительные затраты на собственные нужды.

Используя закон Дальтона к движущейся паровоздушной смеси в конденсаторе, а также уравнение состояния идеального газа можно вывести приближенную формулу:

$$P_{\text{п}} = \frac{P_{\text{к}}}{(1+0.622\varepsilon)^2}$$

$p_{\text{п}}$ – парциальное давление пара,

$p_{\text{к}}$ – давление в конденсаторе,

ε – относительное содержание воздуха.

При мере движения паровоздушной смеси через конденсатор относительное содержание воздуха увеличивается, соответственно уменьшается парциальное давление пара.

Подводя итог можно сказать, что экономичнее использовать двойную герметизацию, однако избавиться от воздухоотсасывающих в полной мере нельзя.

Библиографический список

1. Аронсон К. Э. Теплообменники энергетических установок. Екатеринбург. 2015
2. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Конденсатор_\(теплотехника\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Конденсатор_(теплотехника)), 12.07.19.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ НА ПРОЧНОСТЬ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Теплообменное оборудование (ТО) должно соответствовать определенным требованиям по обеспечению нормальной работы, одним из которых является сохранение надежности конструкции в широком диапазоне условий эксплуатации, что обеспечивается в большинстве случаев прочностью корпуса ТО.

Корпусы ТО состоят из цилиндрической обечайки и двух эллиптических днищ и эксплуатируются в условиях статических нагрузок, возникающих под действием внутреннего или внешнего избыточного давления, осевых или поперечных усилий и изгибающих моментов [1]. В некоторых элементах ТО имеет место перепад температур, что сказывается на прочностных характеристиках и надежности конструкции.

На практике, для усиления прочности и устойчивости конструкций применяют ребра жесткости, поэтому в качестве объекта исследования можно рассматривать корпус ТО, состоящий из обечайки и эллиптических днищ, и ребра жесткости различной конфигурации и профиля. Ребра жесткости могут выступать как в качестве отдельного элемента и крепиться непосредственно к корпусу, так и единым элементом вместе с корпусом. Во втором случае корпус будет иметь специфическую геометрическую форму, позволяющую упрочнить конструкцию, однако вместе с этим увеличится и трудоемкость изготовления конструкции.

Для исследования влияния ребер жесткости на прочностные характеристики, используются пакеты инженерных программ, основанные на решении задач численными методами. Перед вычислением и получением решения требуется задаться геометрией исследуемого корпуса с ребрами жесткости, начальными и граничными условиями, определяющими физический процесс. Результат решения задачи представляется в виде модели с цветовым распределением статических нагрузок по корпусу ТО. Меняя профиль и вид ребер жесткости можно делать вывод об эффективности и целесообразности практического применения подобного технического решения.

Библиографический список

1. Михалева М.Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: учебное пособие для студентов вузов. Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1984. 301 с.

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

УЗЛЫ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОГО БЛОКА ПРОГРАММЫ «SIMINTECH»

Программное обеспечение SimInTech является одним из средств математического моделирования. Оно позволяет создавать расчетные модели технологических систем в виде структурных схем. Создание моделей могут облегчить библиотеки блоков и шаблоны расчетных схем, среди которых теплогидравлические (каналы, стенки и тепловые структуры, баки, арматура, насосы и т.д.) блоки, шаблоны автоматики и целых проектов, точки контроля и др.

Основными элементами теплогидравлического блока являются узлы, каналы, баки, местные гидравлические сопротивления, арматура, тепловые структуры и турбонасосное оборудование.

Совокупность узлов и каналов, соединяющихся гидравлическими линиями связи, образует основную часть расчетной схемы, визуально похожую на принципиальную технологическую схему моделируемой системы. В граничных узлах задаются начальные теплогидравлические параметры среды: давление, температура, вид теплоносителя и др.

Элемент типа «местное сопротивление» моделирует какую-либо особенность трубопровода, затрудняющую течение теплоносителя. К этому же блоку относятся задвижки, клапаны и другая арматура.

Под тепловыми структурами подразумеваются модели стенок трубопроводов и материалы других конструкций с моделью теплообмена. Во всех тепловых структурах реализована одномерная модель теплопроводности, направление теплового потока перпендикулярно течению теплоносителя.

Насос, электродвигатель, ступени турбины и компрессора, электрогенератор, ротор составляют ряд типового оборудования в турбонасосном блоке, каждый элемент которого устанавливается на канал и воздействует на конкретный контрольный объем. Основные типы насосов: простейшие – задан постоянный напор, с полиномными характеристиками – расходно-напорная характеристика в виде параболы с таблично заданными характеристиками.

SimInTech позволяет строить расчетные структуры с большой степенью наглядности, однако из-за комплексности подхода теряется возможность более детального рассмотрения процесса теплообмена.

Библиографический список

1. Хабаров С.П., Шилкина М.Л. Основы моделирования технических систем. Среда SimInTech: учебное пособие. СПб.: Лань, 2019. – 120с.

*Г. К. Трусаков, Г.В. Весовицков, студенты;
рук. А. Г. Ильченко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ХРАНИЛИЩЕ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА НА ПЛОЩАДКЕ АЭС

Хранилище отработавшего ядерного топлива предназначено для долговременного хранения контейнеров с ОТВС сроком не менее 50 лет с целью после пребывания ОТВС в бассейне выдержки удаления остаточных теплообразований в топливе, а также распада инертных радиационных газов и радиоактивных изотопов таких как цезий-134, цезий-137 и тритий. В настоящее время используются, в основном, ХОЯТ на отдельных площадках вне территории АЭС.

Для размещения здания ХОЯТ на площадке принимается, что ХОЯТ потенциально радиационно – опасный объект II категории (согласно п. 3.2.4. [1], так как оно не является зданием с зонами контролируемого доступа).

Расчеты показателей среднегодовой объёмной активности радионуклидов при выбросе в аварийном случае, проведенные применительно к двухблочной АЭС с ВВЭР-ТОИ, показали, что радиационная обстановка в хранилище в случае аварии не превышает допустимых нормативных значений (см. таблицу 1), и не требует оснащения дополнительными системами по нормам [2, 3].

Таблица 1 – Среднегодовая объёмной активности радионуклидов со значениями из НРБ-99/2009[3] и СП АС-03[2]

Радионуклид	Годовые выбросы, Бк	Годовые контрольные уровни выбросов, Бк [2]	Среднегодовая объёмная активность, Бк	Среднегодовая ДОА _{перс} , Бк [3]
Kr-85	$1,4 \cdot 10^{10}$	$6,84 \cdot 10^{14}$	$3,7 \cdot 10^5$	-
Тритий	$0,753 \cdot 10^{10}$	-	$1,98 \cdot 10^5$	$4,4 \cdot 10^5$
Cs-134	$2,69 \cdot 10^7$	$9,0 \cdot 10^9$	$7,05 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^3$
Cs-137	$6,38 \cdot 10^7$	$2,04 \cdot 10^{10}$	$1,67 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^3$

На сегодняшний момент проект хранилища отработавшего ядерного топлива на площадке АЭС имеет перспективные возможности в развитии топливного цикла АЭС как с точки зрения экономичности, так и с точки зрения радиационной и ядерной безопасности.

Библиографический список

1. СП 2.6.1.2612-10 ОСПОРБ-99/2010 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности.
2. СанПин 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009.
3. СанПин 2.6.1.24-03 Санитарные правила проектирования и эксплуатации (СП АС - 03).

СЕКЦИЯ 10
ТЕПЛООБМЕН В ПРОМЫШЛЕННЫХ
УСТАНОВКАХ

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

Секретарь –
студ. **Гусева В.М.**

*Н.Е. Шлегель, асп.; П.П. Ткаченко, асп.; С.С. Кропотова, асп.;
рук. П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., проф.,
(НИ ТПУ, г. Томск)*

АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ ВТОРИЧНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КАПЕЛЬ ЖИДКОСТЕЙ

Вторичное измельчение капель жидкостей встречается в различных приложениях [1, 2]: для распыления топлива в топки котлов, в системах охлаждения, в двигателях внутреннего сгорания, в системах пожаротушения, в теплообменном оборудовании. Целью исследований являлось экспериментальное определение эффективных условий применения комбинированных систем для вторичного измельчения однородных и существенно неоднородных капель жидкостей. В качестве исследуемых жидкостных составов использовались составы, применяемые для практических газопарокапельных приложений (вода, ВУТ, ОБУТ, эмульсия трансформаторного масла, эмульсия дизеля. Для проведения исследований использовалась группа экспериментальных стендов, обеспечивающих последовательное дробление капель за счет столкновения друг с другом, при воздействии потока воздуха, за счет соударения с нагретой стенкой и микровзрыва капель (аналогично методике, рассмотренной в [3]).

Установлено, что при комбинировании нескольких схем измельчения одиночных капель удалось добиться увеличения площади поверхности в несколько раз по сравнению со случаем, когда применялась лишь одна из схем измельчения. Показано, что при комбинировании четырех рассмотренных схем измельчения предоставляется возможным увеличить площадь поверхности жидкости практически в 263 раза.

Работа поддержана Российским научным фондом (проект 18–71–10002).

Библиографический список

1. **Arai M., Saito M.** Atomization characteristics of jet-to-jet and spray-to-spray impingement systems // At. Sprays. 1999. V. 9. P. 399–417.
2. **Guildenbecher D.R., López-Rivera C., Sojka P.E.** Secondary atomization // Exp. Fluids. 2009. V. 46, 371.
3. **Kuznetsov G.V., Shlegel N.E., Solomatn Y., Strizhak P.A.** Combined techniques of secondary atomization of multi-component droplets // Chemical Engineering Science. 2019. V. 209, 115199.

*М.А. Дюжий, студ.; М.В. Лехнер, студ.; А.Н. Самсонова, маг.;
рук. А.А. Добров, старший преподаватель
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛООБМЕННИКЕ СО ЗМЕЕВИКАМИ МАЛОГО РАДИУСА НАВИВКИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ПОРИСТОГО ТЕЛА В ANSYS CFX

Доклад посвящен моделированию процессов гидродинамики и теплообмена воздушной среды в теплообменном блоке аппарата воздушного охлаждения (АВО) экспериментального стенда НГТУ. Теплообменная поверхность набрана из 448 змеевиков малого радиуса навивки, и ее прямое моделирование с использованием CFD программ является технически невыполнимой задачей из-за очень большой размерности расчетной сетки и сверхвысокими требованиями к вычислительным ресурсам. Поэтому для описания теплообменной поверхности АВО в работе была применена модель пористого тела.

В ходе выполнения работы получены следующие результаты:

1) Проведено численное моделирование течения воздуха во фрагменте межтрубного пространства теплообменника АВО с учетом нагрева от стенок змеевиков. Рассмотрены варианты с продольным и поперечным обтеканием змеевиков.

2) Исследованы зависимости коэффициентов гидравлического сопротивления и теплоотдачи от скорости воздушного потока. Создана расчетная модель аппарата воздушного охлаждения, теплообменная поверхность которого моделируется в пористом приближении. Полученные данные использованы в качестве замыкающих соотношений при создании модели теплообменника АВО в приближении пористого тела.

3) Получены сведения об эффективности теплоотдачи при работе АВО с различным числом включенных вентиляторов.

Созданная модель АВО является его цифровым двойником, позволяющим определить характеристики работы АВО с использованием компьютерного моделирования. Эта модель внедрена в деятельность лаборатории «Реакторная гидродинамика» НГТУ, в состав которой входит экспериментальный стенд исследования смещения неизотермических потоков, и используется при планировании экспериментальных исследований с целью выбора и оптимизации режимов работы в зависимости от решаемых на стенде задач.

*П.П. Ткаченко, асп.; Н.Е. Шлегель, асп.; Кропотова С.С., асп.;
рук. П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., проф.
(НИ ТПУ, г. Томск)*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФОРМЫ И ПОЛОЖЕНИЯ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ КАПЕЛЬ ЖИДКОСТЕЙ

Изучение процессов столкновения как одиночных капель [1,2], так и капель в аэрозольных потоках [3] вызывает интерес в научном сообществе. Большое количество работ посвящено исходам столкновений, с описанием карт возможных режимов [4]. Однако изучение движения слоев жидкости при столкновении двух одиночных капель трудно реализовать традиционными методами ввиду сложности протекающих процессов. Представлены результаты экспериментального исследования бинарных столкновений капель жидкостей с флуорофором и красителем для регистрации положения и вида границы раздела капель в момент удара на основе метода Planar Laser Induced Fluorescence (PLIF).

Для изучения границы трансформации сталкивающихся капель с разными свойствами использовался Rhodamine В. Для наглядной визуализации процесса соударения снаряда и мишени подкрашивался снаряд с использованием гелиевой краски в концентрации 2 г/л. Определение относительной интенсивности свечения капель (I) проводилось с помощью программного обеспечения DaVis 10.

Установлено, что изменение средней интенсивности светимости результирующих капель зависит от режима взаимодействия, отношения размеров мишени и снаряда, значения линейного безразмерного параметра взаимодействия и состава капель.

Библиографический список

1. **Musehane N.M., Oxtoby O.F., Reddy B.D.** Multi-scale simulation of droplet–droplet interaction and coalescence // *Journal of Computational Physics*. 2018. (373). С. 924–939.
2. **Sommerfeld M., Kuschel M.** Modelling droplet collision outcomes for different substances and viscosities // *Experiments in Fluids*. 2016. № 12 (57). С. 187.
3. **Li H. и др.** Comprehensive study on co-combustion behavior of pelletized coal-biomass mixtures in a concentrating photothermal reactor // *Chemical Engineering Science*. 2020. (211). С. 115252.
4. **Finotello G. и др.** The dynamics of milk droplet–droplet collisions // *Experiments in Fluids*. 2018. № 1 (59).

Д.С. Беляков, студ.; А.В. Чибисова, студ.; рук. Д.А. Долинин,
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КЕРАМИКИ

В работе представлено исследование зависимости водопоглощения керамического материала, полученного с добавлением углеродистого остатка пиролиза ТКО, от температуры обжига изделий [1]. Результаты исследований позволяют получать керамические изделия с требуемыми свойствами при снижении расхода энергоресурсов.

Как правило, керамика обжигается в шкафных или туннельных печах, и для ее обжига необходимо значительное количество тепловой энергии [2]. Целью настоящего исследования является экспериментальное определение водопоглощения керамического материала, полученного с использованием пиролизного остатка ТКО.

Водопоглощение определяли в соответствии с ГОСТ 7025-91.

Результаты экспериментов, характеризующие зависимость массового водопоглощения от температуры обжига керамики представлены на рис. 1.

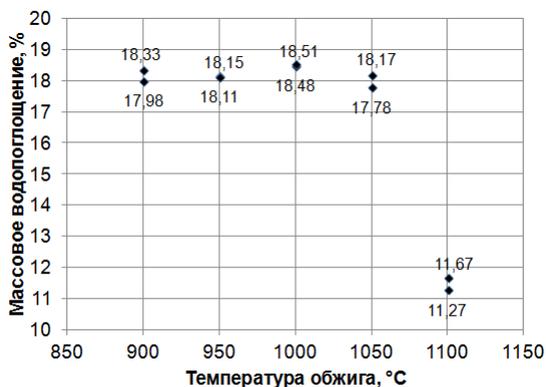


Рис. 1. Массовое водопоглощение керамики в зависимости от температуры обжига

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: труды Десятой Международной школы-семинара молодых ученых и специалистов. Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2020. 435 с.
2. **Шевченко, В. Я.** Введение в техническую керамику / В. Я. Шевченко. М.: Наука, 1993. 112 с.

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

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ОСТАТКА ПИРОЛИЗА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Для перехода к экологически чистой энергетике необходимо создавать и применять на практике новые энергоэффективные безотходные технологии, предусматривающие комплексную переработку органических отходов, в том числе твердых коммунальных.

Использование продуктов утилизации твердых коммунальных отходов (ТКО) в производстве строительной керамики не только способствует уменьшению себестоимости строительных материалов и изделий, но и снижает уровень загрязнения окружающей среды [1].

Предложено использовать твердый пиролизный остаток ТКО в качестве добавки для получения керамического материала.

Способ получения керамического материала для производства строительных изделий, содержащий глинистое сырье, включающий сушку компонентов, измельчение и их последующее смешение до получения пресс-порошка, его полусухое прессование, сушку и обжиг изделий, характеризуется тем, что в глинистое сырье вводится отощающая добавка, включающая техногенный отход в виде пиролизного остатка частично сортированных твердых коммунальных отходов среднего морфологического состава и легкоплавкую глину при следующем соотношении компонентов добавки, мас. %: легкоплавкая глина – 80; указанный техногенный отход – 20, причем сырьевая смесь включает легкоплавкую глину и отощающую добавку в соотношении, мас. %: легкоплавкая глина – 60-70; мелкодисперсная добавка - 40-30 [2].

Для приготовления сырьевой смеси может быть использована глина монтмориллонитовая.

Полученные керамические изделия соответствуют гарантированной марке М200. Средняя плотность составляет 1740 кг/м³, что соответствует 2 классу по средней плотности изделия (ГОСТ 530-2012).

Библиографический список

1. Попов К.Н., Кадло М.Б. Строительные материалы и изделия. М.:2001г. -367с.
2. Юшкевич М.О., Роговой М.И. Технология керамики. М.: 1969г -350с.

С.Н. Коровин, студ.; С.С. Рязанов, студ.; рук. О.В. Самышина,
(ИГЭУ, г. Иваново)

О ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБЖИГА НА ПРОЧНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КЕРАМИКИ

В работе представлено исследование зависимости прочности керамического материала, полученного с добавлением углеродистого остатка пиролиза ТКО, от температуры обжига изделий [1].

Как правило, керамика обжигается в шкафных или туннельных печах, и для ее обжига необходимо значительное количество тепловой энергии [2]. Целью настоящего исследования является экспериментальное определение механической прочности керамического материала, полученного с использованием пиролизного остатка ТКО.

Экспериментальные исследования механической прочности материала проведены при помощи гидравлического пресса. Было выполнено по три опыта на цилиндрических образцах, отличающихся температурой обжига. Результаты приведены на рис. 1.

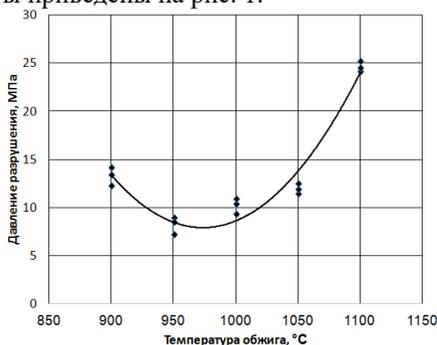


Рис. 1. Прочность керамики в зависимости от температуры обжига

Таким образом, получили керамику марки М100 для температур обжига 950, 1000, 1050 °С, М125 для 900 °С и М250 для 1100 °С.

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: труды Десятой Международной школы-семинара молодых ученых и специалистов. Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2020. 435 с.
- 2. Шевченко, В. Я.** Введение в техническую керамику / В. Я. Шевченко. М.: Наука, 1993. 112 с.

*В.В. Крайнов, студ.; К.В. Суманеева, студ.;
рук. О.Б. Колибаба, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ ОТХОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИКИ

Предложено использовать твердый углеродистый остаток пиролиза текстильных отходов в технологии производства керамического материала в качестве структурофазообразующей добавки. Целью исследования является определение теплофизических свойств (удельной теплоемкости, коэффициента теплопроводности) керамического материала.

Для определения коэффициента теплопроводности использовали стационарный метод цилиндрического слоя (рис. 1). А для экспериментального определения теплоемкости использовали калориметрический метод.

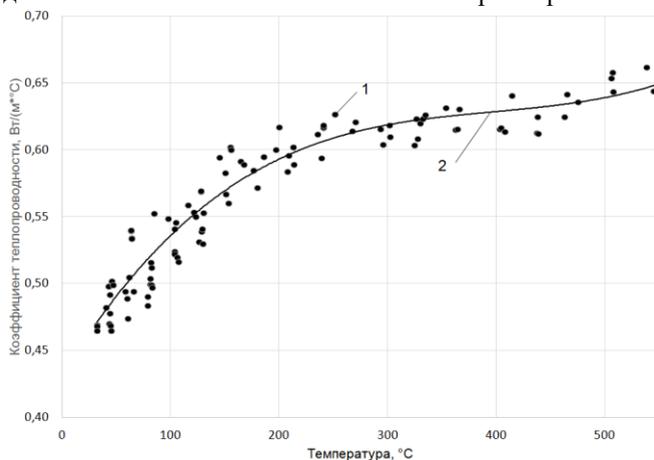


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности модифицированной керамики от температуры: 1 – эксперимент; 2 – аппроксимация.

Анализ показывает, что коэффициент теплопроводности неравномерно возрастает с увеличением температуры.

Библиографический список

1. Осипова, В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена [Текст] : [Учеб. пособие для теплоэнерг. спец. вузов]. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва: Энергия, 1979. - 319 с.
2. Тепло- и массообмен и теплотехнический эксперимент. Справочник. Под общей редакцией В.А. Григорьева и В.М. Зорина. М.: Энергоиздат. – 1982. - 510 с.

К.Б. Кустова, студ.; Е.Л. Сенькова, студ.;
рук. Д.А. Долинин (ИГЭУ, г. Иваново)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КЕРАМИКИ

Керамика – материалы, изготавливаемые из глин или их смесей с минеральными добавками под воздействием высокой температуры с последующим охлаждением. Твердый углеродистый остаток пиролиза твердых коммунальных отходов в может быть использован в качестве модифицирующей добавки при производстве керамических материалов.

В работе проведено экспериментальное исследование средней и истинной плотности керамики, полученной с добавлением твердого остатка пиролиза ТКО среднего морфологического состава, пищевых отходов, бумаги, текстильных отходов, древесины и резины. Результаты представлены на рис. 1.

Среднюю плотность исследуемого материала определяли по известной формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

где m – масса высушенного образца, полученная взвешиванием, кг;
 V – объем образца, найденный прямым измерением, кг/м^3 .

Истинную плотность определяли пикнометрическим методом [1].

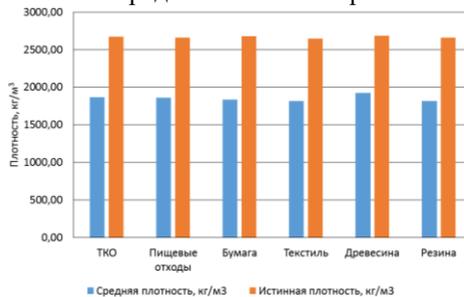


Рис. 1. Средняя и истинная плотность модифицированной керамики с добавкой остатка пиролиза различных веществ.

Анализ диаграммы показывает, что средняя и истинная плотность керамики практически не зависят от вида модифицирующей добавки.

Библиографический список

1. ГОСТ 7025-91 Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости.

*С.Э. Шавадзе, студ.; А.А. Малов, студ.;
рук. О.Б. Колибаба, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

К РАСЧЕТУ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Жизнедеятельность человека связана с появлением большого количества различных отходов. В последние десятилетия произошёл резкий рост потребления, что привело к значительному увеличению объёмов образования твердых коммунальных отходов (ТКО).

ТКО представляют собой гетерогенную смесь сложного морфологического состава, включающую пищевые и растительные отходы, пластмассы, кожу, резину, дерево и т.д.

В расчетах процессов теплообмена слой ТКО рассматривают как многокомпонентную структуру с эффективными теплофизическими свойствами: плотностью $\rho_{эф}$, средней удельной теплоемкостью $c_{эф}$, коэффициентами теплопроводности $\lambda_{эф}$ и температуропроводности $\alpha_{эф}$. Для определения эффективных теплофизических свойств в качестве модели слоя ТКО примем трехкомпонентную структуру с вкраплениями [1]. Ограничимся компонентами, которые имеют наибольшее процентное содержание в смеси ТКО: пищевые отходы, бумага и текстиль с процентным содержанием каждого отдельного компонента в смеси 50%, 42% и 8%, соответственно.

Расчеты эффективной плотности и средней удельной теплоемкости выполнены по принципу аддитивности. Эффективный коэффициент теплопроводности определен по методике [1], а эффективный коэффициент температуропроводности – по известной формуле:

$$\alpha_{эф} = \frac{\lambda_{эф}}{\rho_{эф} \cdot c_{эф}} \quad (1)$$

Полученные температурные зависимости эффективных теплофизических свойств в диапазоне температур от 20 до 95 °С представлены уравнениями (2 – 3):

$$c_{эф}(T) = 1367 + 4,209 \cdot T - 0,012 \cdot T^2 \quad (2)$$

$$\lambda_{эф}(T) = 0,091 + 0,0001 \cdot T - 5,0 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 \quad (3)$$

Эффективная плотность составляет $\rho_{эф} = 1058,52 \text{ кг} / \text{м}^3$.

Библиографический список

1. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.

Н.Н. Ваганова, К.С. Казаков, Ф.А. Громов, студ.;
рук. О.Ю. Назорная
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ЗА СЧЕТ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА

Теплообменные аппараты паротурбинных установок АЭС – крупногабаритное, дорогостоящее, науко- и металлоемкое оборудование, от нормального функционирования которого существенно зависят эффективность и надежность работы как самой турбоустановки, так и АЭС в целом.

Подогрев питательной воды конденсата паром из отборов турбины осуществляется в регенеративных подогревателях. Проблема эффективной и надёжной работы системы регенерации высокого и низкого давления АЭС является одной из важнейших для обеспечения технических, экономических и эксплуатационных характеристик турбоустановок.

К настоящему времени разработаны различные методы интенсификации теплообмена. Выбор метода интенсификации определяется рядом условий: не превышение допустимых гидравлических потерь и энергетических затрат; соответствие критериям безотказной работы (прочность, эрозия, коррозия и т.д.); обеспечение минимума отложений на поверхности нагрева; технологичность и дешевизна изготовления интенсифицированной теплообменной поверхности. [1]

В работе проведен анализ различных способов повышения интенсификации теплообмена регенеративных подогревателей низкого давления в соответствии с требованиями эксплуатации теплообменного оборудования [2].

Анализ результатов показал, что интенсификация теплообмена служит мощным средством повышения эффективности не только теплообменного оборудования, но и теплоэнергетической установки в целом. Снижение удельного расхода топлива существенно зависит от совершенства вспомогательного (теплообменного) оборудования энергоустановок.

Библиографический список

- 1. Назмеев Ю.Г., Лавыгин В.М.** Теплообменные аппараты ТЭС: учеб. пособие для ВУЗов. – М.: Энергоатомиздат, 1988 – 288с.
- 2. СТО 1.1.1.01.001.0889-2013.** Теплообменное оборудование для атомных электростанций. Технические требования эксплуатирующей организации.

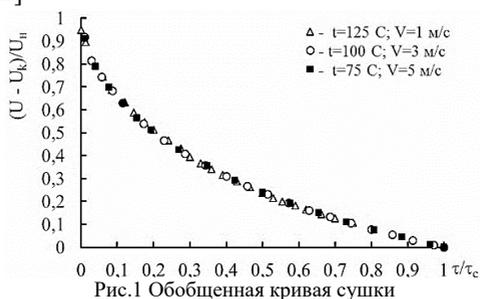
*Д.С. Таламаев, В.М. Перфильева, студ.; рук. Е.В. Гусев, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПТИМИЗАЦИЯ КИНЕТИКИ СУШКИ ЗОЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Интенсивность влагопереноса из внутренней слоев высушиваемого капиллярно-пористого материала к его поверхности во много зависит от внешних условий теплообмена [1]. На продолжительность обезвоживания влажного материала существенное влияние оказывают параметры сушильного агента: температура и скорость.

В качестве исследуемого материала использовалось глинозольное изделие-сырец жесткого пластического формования толщиной 10 мм с 30%(масс.) содержанием тонкодисперсной золы гидроудаления ТЭС.

Сушка осуществлялась нагретым воздухом при его различных температурах (75-125°C) и скоростях (1-5 м/с) продольного обтекания теплоносителем обеих сторон пластинчатого изделия. При обработке кинетических кривых сушки методом Красникова получены обобщенные кривые сушки (рис.1), объединяющие все кинетические данные по обезвоживанию в единую зависимость и которые позволяют пересчитать продолжительность сушки при изменении начального и конечного влагосодержания материала [2].



Из кривых сушки глинозольного материала установлено, что при повышении температуры и скорости сушильного агента время обезвоживания уменьшается на 20-40% и приводит к снижению энергозатрат. По характеру полученных кривых сушки можно отметить, что глинозольное изделие относится к капиллярно-пористым материалам.

Библиографический список

1. Сажин Б.С. Основы техники сушки. -М.: Химия, 1984. 320 с.
2. Красников В.В. Кондуктивная сушка. М.: Энергия, 1973. 288 с.

Д.С. Таламаев, маг.; А.С. Попова, студ.; рук. Е.В. Гусев, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБЖИГА НА СПЕКАЕМОСТЬ ЗОЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Одним из важных показателей в производстве керамических материалов при их высокотермической обработке (обжиге) является спекаемость, степень которой зависит от температуры среды и определяет прочностные показатели изделия. При повышении температуры термической обработки спекаемость изделия повышается при уменьшении его пористости и водопоглощении, и приводит к дополнительных энергозатрат.

В качестве исследуемого материала использовалось высушенное (до влажности 5%) керамическое изделие пластического формования с 40%(масс.) содержанием тонкодисперсной золы гидроудаления ТЭС. Обжиг проводился в муфельной печи при скорости 5°С/мин до температуры изотермической выдержки, которая осуществлялась в течение одного часа. Температура обжига изменялась от 900°С до 1050°С с интервалом 50°С. Оценка спекаемости керамических изделий строительного назначения производится по их водопоглощению [1].

На рис.1 приведена зависимость влияния температуры обжига на водопоглощение исследуемого золокерамического материала.

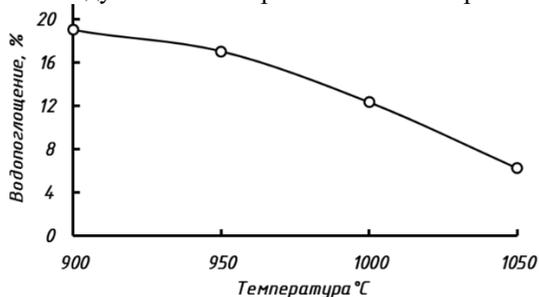


Рис. 1. Кривая спекания золокерамического материала

Из полученных данных следует, что для производства стеновых эффективных золокерамических изделий обходима температура обжига от 1000÷1050°С в зависимости от их назначения [2].

Библиографический список

1. Августиник А.И. Керамика. Л.: Стройиздат, 1975. - 591 с.
2. Сайбулатов С.Ж., Сулейменов С.Т., Кулбеков М. Золо ТЭС в производстве строительной керамики. Алма-Ата: Казахстан, 1986. - 144 с.

*В.М. Гусева, студ.; рук. Р.Н. Габитов, к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ

Одной из актуальных проблем в железнодорожной отрасли является утилизация отработанных деревянных шпал. Для защиты от воздействия погодных условий и различных насекомых шпалы покрывались креозотом. Креозот активно использовался еще с 50-х годов XX века и представляет собой продукт дистилляции массы каменного угля дегтем, в результате чего получается фенольный эфир – ядовитое вещество. Утилизация ядовитых веществ традиционными способами захоронением и сжиганием нежелательна и в ряде случаев запрещена [1]. Эффективным способом утилизации шпал является пиролиз с последующим сжиганием полученного пиролизного газа.

Одним из перспективных методов утилизации шпал является термический метод с использованием слоевых установок. Чтобы оценить функционирование таких установок необходимо провести детальный анализ процессов тепломассообмена, протекающих в рабочем пространстве, определить конструктивные особенности. Функционирование установки по утилизации шпал позволит обеспечить теплом и электрической энергией животноводческий комплекс.

Важной задачей является определение энергетической эффективности установки. В рамках работы проведено расчетное определение потребляемой и получаемой энергии, оценка производительности в зависимости от различных параметров исходного сырья.

Для четырех одновременно работающих реакторов рассчитаны тепловые балансы при различных режимах работы установки, например, с влажностью 35% и зольностью 10% – производительность по исходному сырью 26 т/сут, выработка тепловой мощности составила 2 МВт, количество топливного газа отдаваемого потребителю на собственные нужды - 1.97 т/сут.

Библиографический список

1. Тимербаев Н. Ф., Сафин Р. Г., Саттарова З. Г. Утилизация твердых отходов деревопереработки, содержащих токсичные вещества // Вестник Казанского технологического университета. - 2011. - №4. - с. 79 -84.

*П.Д. Морозова, студ.; рук. О.И. Горинов, к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕКУПЕРАТИВНАЯ РАДИАЦИОННАЯ ТРУБА НАПРАВЛЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (РРТНИ)

Радиационные трубы нашли применение в высокотемпературных технологических процессах, когда тепловое воздействие на обрабатываемый материал происходит в безокислительной атмосфере [1]. В этих процессах передача тепловой энергии осуществляется излучением, поэтому ее величина прямо пропорциональна температуре излучающей поверхности в четвертой степени. Интенсификацию теплообмена между источником лучистой энергии и термообрабатываемым материалом можно осуществлять посредством увеличения температуры излучателя. Одним из способов является увеличение температуры воздуха, идущего на горение топлива в радиационной трубе, что приводит к увеличению температуры излучателя. Однако подогрев воздуха в отдельных подогревателях усложняет конструкцию теплотехнологической установки и ее эксплуатацию. Отопление высокотемпературных установок рекуперативными радиационными трубами направленного излучения имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами, а именно:

- установка рекуператора над верхней половиной радиационной трубы позволяет не сооружать в теплотехнологических установках свод, который часто имеет сложную конструкцию;
- отсутствие свода облегчает конструкции теплотехнологических установок, что особенно важно для блок-мобильных вариантов их конструкций, требующих перемещения в период эксплуатации;
- отсутствие свода позволяет снизить потери тепловой энергии;
- продукты горения газа изолированы от рабочего пространства, что позволяет производить термообработку материалов в безокислительной атмосфере;
- «холодный» корпус рекуператора обеспечивает конструктивную жесткость «горячей» радиационной трубы;
- направленная лучистая тепловая энергия позволяет вести процессы нагрева и термообработки материалов более эффективно, с минимальными тепловыми потерями;
- процедуры монтажа, перевозки и ремонта терморектора облегчены, поскольку конструкция его разборная

Библиографический список

1. **Усачев, А.Б.** Современные нагревательные и термические печи (конструкции и технические характеристики): справочник / В.Л. Гусовский, М.Г. Ладыгичев, А.Б. Усачев; под. ред. А.Б. Усачева. – М.: Теплотехник, 2007. – 656 с.

СЕКЦИЯ 11
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
В ТЕХНОСФЕРЕ

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

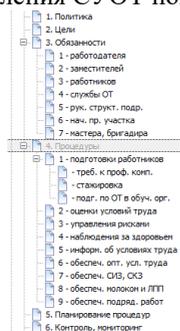
Секретарь –
студент **Тихомирова М.А.**

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

КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА В ОРГАНИЗАЦИИ

Работодатель в соответствии с федеральным законом «Трудовой кодекс Российской Федерации» [1] обязан обеспечить создание и функционирование системы управления охраной труда (СУОТ) в организации. СУОТ представляет собой комплекс взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов, устанавливающих политику и цели в области охраны труда у конкретного работодателя и процедуры по достижению этих целей. Положение о СУОТ разрабатывается на основе типового положения [2], с учётом требований ГОСТов [3,4].

Задача исследования, решаемая относительно положения о СУОТ, заключается в разработке методики представления его сведений в более доступной для анализа цифровой среде. Фрагмент компьютерного представления СУОТ показан далее.



Процедуры, направленные на достижение целей работодателя в области охраны труда

Для достижения целей в области охраны труда в организации предусмотрены следующие процедуры:

- подготовка работников по охране труда;
- организация и проведение специальной оценки условий труда;
- управление профессиональными рисками;
- организация и проведение наблюдения за состоянием здоровья работников;
- информирование работников об условиях труда на их рабочих местах, уровнях профессиональных рисков, а также о предоставляемых им гарантиях, полагающихся компенсациях;
- обеспечение оптимальных режимов труда и отдыха работников;
- обеспечение работников средствами индивидуальной и коллективной защиты, смывающими и обезвреживающими средствами;
- обеспечение работников молоком и другими равноценными пищевыми продуктами, лечебно-профилактическим питанием;
- обеспечение безопасного выполнения подрядных работ.

Цифровая среда позволяет проще проводить настройку содержания разделов положения о СУОТ на изменяющиеся требования.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 29.12.2020) «Трудовой кодекс Российской Федерации» [Электронный ресурс] // СПС КонсультантПлюс. – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (18.02.2021).
2. «Типовое положение о системе управления охраной труда», утв. пр. Минтруда №438н от 19.08.16. [Электронный ресурс] // ИС «Техноэксперт». – <http://www.docs.cntd.ru/document/420376480> (18.02.2021).
3. ГОСТ 12.0.230-2007. «Системы управления охраной труда. Общие требования» [Электронный ресурс] // ИС «Техноэксперт». – <http://www.docs.cntd.ru/document/1200052851> (18.02.2021).
4. ГОСТ 12.0.230.1-2015. «Системы управления охраной труда. Руководство по применению ГОСТ 12.0.230-2007» [Электронный ресурс] // ИС «Техноэксперт». – <http://www.docs.cntd.ru/document/1200136073> (18.02.2021).

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ ПАРОВ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

Воздушная линия электропередачи (ВЛЭП) является источником акустического воздействия на окружающую среду. Шум вызывается коронным разрядом на проводах. При отсутствии осадков он определяется «электрическим ветром» – движением воздуха по замкнутым траекториям, вызванным лавинно-импульсным механизмом разряда с отдельных точек поверхности провода, положение которых регулируется сопряженными воздушными потоками. При наличии капель дождя на проводе возникает новый процесс, связанный с деформацией заряженных капель и их отрывом от поверхности провода.

Уровень шума, дБА в зависимости от параметров ВЛЭП и параметров режима ее работы приближенно можно определить по формуле

$$\text{Ш} = 16 + 1,11 E_{\text{max}} + 9 r_0 + 15 \ln n - 10 \lg y,$$

где E_{max} – действующее значение максимальной напряженности поля на поверхности провода, кВ/м; r_0 – радиус провода, см; n – число составляющих проводов в фазе; y – расстояние от крайней фазы, м.

В результате выполненного расчета было установлено, что уровень шума, создаваемый ВЛЭП сверхвысокого напряжения 330 кВ на расстоянии 100 м от крайней фазы составляет 56,1 дБА.

В докладе также рассмотрены результаты расчета выбросов паров трансформаторного масла при его заливке в трансформаторы или емкости на территории подстанции. Снижение электроизоляционных свойств трансформаторного масла вследствие его загрязнения в процессе эксплуатации трансформаторов опасно тем, что могут произойти сбои в работе, которые станут причиной выхода оборудования из строя, и вследствие этого нанесение вреда окружающей среде.

Библиографический список

1. Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров – Казань, 1999. 62 с.
2. Трансформаторное масло как изоляционный материал [Электронный курс] – режим доступа: <https://leg.co.ua/info/transformatory/transformatornoe-maslo-kak-izolyacionnyy-material.html>.

*Ю.Б. Гайсеев, студ.; рук. А.Г. Горбунов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Электромагнитное поле – это особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между электрически заряженными частицами

Линии электропередач создают электромагнитное поле, которое превышает допустимый уровень.

Существуют три основных метода защиты от воздействия электромагнитных полей (ЭМП):

- 1) Защита временем - сокращение времени контакта с источниками ЭМП;
- 2) Защита расстоянием – создание зоны контролируемого доступа вокруг источника ЭМП;
- 3) Применение технических средств коллективной и индивидуальной защиты.

В работе произведен расчет электрического поля от воздушных линий в районе жилых домов и проведена оценка его воздействия на жилую зону.

Для расчета электрических полей осей, находящихся вблизи проводящих поверхностей, использовался метод зеркальных изображений, суть которого в замене влияния проводящей поверхности зеркальным изображением соответствующим зарядам.

В случае земли (проводящая среда) и воздуха, в котором расположены заряды источника их зеркальное изображение равны им по модулю и противоположны по знаку. Это справедливо только для земли и воздуха.

Библиографический список

1. Презентация «Электромагнитное поле» [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.myshared.ru/slide/803382/>
2. Г.В. Куренкова Г.В. Неионизирующие электромагнитные излучения как неблагоприятный фактор производственной среды [Электронный ресурс] – режим доступа: https://www.ismu.baikal.ru/src/downloads/f4c316ed_neioniziruyuschie_elektromagnitnye_izlucheniya_kurenkova_2013.pdf.

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

ВЛИЯНИЕ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ НА ЗРИТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ ЧЕЛОВЕКА

С точки зрения безопасности труда зрительная способность и зрительный комфорт очень важны, так как 90% информации человек получает при помощи органов зрения. Работа в условиях несоответствия параметров световой среды требованиям нормативных документов приводит не только к более быстрому утомлению зрительного аппарата человека и снижению его работоспособности, но может стать причиной серьезных травм, поскольку человек просто не увидит грозящую опасность. С точки зрения физиологии зрительного процесса решающим значением для надежного опознания объектов различения, в том числе, несущих информацию об опасности человека, является освещение, показатель дискомфорта и коэффициент пульсации

Чтобы разобраться, как световая среда влияет на зрение человека, стоит рассмотреть строение и механизм работы зрительного аппарата, что на основе [1] описано в докладе. Подробно проанализировано влияние на зрительную работоспособность таких параметров световой среды, как яркость и контраст фона, повышенная пульсация светового потока, наличие блескости, форма различаемого объекта, размер поля зрения и т.д. С моей точки зрения, решающими являются три первых параметра, механизм неблагоприятного воздействия которых подробнее раскрыт в докладе. Также на основе [2] показано разрушительное влияние синего-голубой части видимого спектра на сетчатку глаза.

Освещение рабочего места - один из важнейших факторов, влияющих на эффективность трудовой деятельности человека, предупреждающих травматизм и заболевания. Правильное освещение создает благоприятные условия труда, повышает работоспособность и производительность. Поэтому обеспечение нормативных параметров световой среды играет важную роль в деятельности любого предприятия.

Библиографический список

1. Гуторов М.М. Основы светотехники и источники света. М: Энергия, 1968. 392 с.
2. Островский М.А. Молекулярные механизмы повреждающего действия света на структуры глаза и системы защиты от такого повреждения. / Успехи биологической химии. – 2005. – Т. 45, с. 173-204.

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

АНАЛИЗ РИСКА ИНГАЛЯЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА НАСЕЛЕНИЕ Г. ИВАНОВО

Загрязнение атмосферного воздуха сопровождается ухудшением состояния здоровья населения. Статистически значимая заболеваемость населения от загрязнения воздуха установлена для заболеваний бронхитами, эмфиземой легких, пневмонией, ОРЗ и др. В связи с этим возникает задача определения риска для человека и окружающей среды при воздействии вредных веществ, включая уровень приемлемого риска.

Для анализа рисков здоровью жителей г. Иваново были выбраны диоксид азота и взвешенные вещества. Расчет был проведен для ингаляционного пути поступления указанных веществ в организм человека.

Результаты расчета хронического неканцерогенного индивидуально-го риска свидетельствуют о их вариабельности. На основе результатов и анализа данных мониторинга взвешенных веществ и диоксида азота и рассчитанных значений риска можно сделать вывод, что в г. Иваново уровень хронического неканцерогенного риска за весь рассмотренный период (2016-2020 гг.) наблюдался выше приемлемого уровня (0,02), но немного превысил пороговое значение (0,05), что означает наличие вредных эффектов при хроническом воздействии загрязняющих веществ на здоровье населения. Это свидетельствует о том, что загрязнение воздуха в рассмотренный период незначительно, но повлияло на общую заболеваемость населения. Поэтому необходимо принять организационные и технологические решения, которые позволят снизить уровень риска до приемлемых значений.

Библиографический список

1. Фоменко А.И. Основы токсикологии: учеб. пособие. Выпуск 2 // Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности». – 2011. – № 6.
2. Карлин Л.Н., Музалевский А.А. Рискологические исследования в РГГМУ // Безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 2. – С. 5-19.
3. Фруммин Г.Т. Оценка риска для здоровья населения Санкт-Петербурга при ингаляционном воздействии взвешенных веществ и бенз(а)пирена // Безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 2. – С. 38-41.

*Д.Н. Пряхин, студ.; рук. В.П. Строев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Процесс замены загрязнённого воздуха производственных помещений на свежий происходит за счет системы вентиляции.

В докладе обоснован выбор типа и конструктивного исполнения системы вентиляции в зависимости от вида используемого оборудования и выполняемых технологических операций на рабочих местах в производственном помещении.

Проанализированы возможности применения для решения поставленной задачи общеобменной, естественной, механической, местной систем вентиляции. По способу подачи и удаления воздуха из помещений системы вентиляции делятся на приточные, вытяжные, приточно-вытяжные. При этом приточные и вытяжные системы могут быть как общеобменные, так и местные. Система называется общеобменной, если во всем объеме помещения создаются примерно одинаковые параметры микроклимата и концентрации вредных веществ. Данные системы применимы для помещений с большим количеством людей, равномерно распределёнными рабочими местами по площади пола, и помещений небольшой высоты.

Главное назначение естественной вентиляции – удаление избытка CO_2 и обеспечение притока свежего воздуха, обогащенного O_2 .

Приточная система вентиляции заключается в организованном притоке и неорганизованной вытяжке, причем в помещении создается избыточное давление по отношению к соседним помещениям. Вытяжная система вентиляции заключается в неорганизованном притоке и организованной вытяжке. Приточно-вытяжная система вентиляции заключается в организованном притоке и вытяжке воздуха. Проведена оценка режима работы вентиляционной системы для снижения концентрации вредных веществ в производственных помещениях.

Библиографический список

1. Пыжов В.К. Проектирование и эксплуатация систем кондиционирования, вентиляции и отопления: учебное пособие / В. К. Пыжов; Министерство образования и науки Российской Федерации, ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им В.И. Ленина». – Иваново: Б.и., 2011. 568 с.
2. Батурин, В.В. Вентиляция машиностроительных заводов / В.В. Батурин, В.В. Кучерук / Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. Машгиз, 1994. 443 с.

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

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ТРАВМАТИЗМ В РОССИИ И МИРЕ

Производственный травматизм как следствие аварий и несчастных случаев является актуальной проблемой во всех развитых странах мира. По данным Международной организации труда (МОТ), каждые три минуты в результате несчастного случая или профессионального заболевания в мире погибает один рабочий, а каждую секунду четверо работающих получают травму.

Вопросы анализа травматизма сохраняют свою актуальность и далее т.к., тесно связаны с вопросами жизни и здоровья людей, которые, согласно принципу антропоцентризма, лежат в основе обеспечения безопасности жизнедеятельности.

Многие исследователи, проводя сравнение характера травматизма в России и мире, отмечают ряд аномалий в данных нашей страны.

Так в России, в течение последних десятилетий существенно снижаются количественные характеристики травматизма, и на данный момент они кратно ниже показателей стран с развитой промышленностью таких, как США, Германия, Япония. При этом тяжесть зафиксированных в России травм неуклонно возрастает [2].

В развитых странах динамика показателей травматизма испытывала снижение в 70-80-х годах на фоне технического перевооружения промышленных предприятий, но такое объяснение не применимо для современной России.

Отмечено, что за наиболее точные данные по травматизму можно считать статистику смертельных несчастных случаев в силу того, что сокрытие этих данных представляется затруднительным.

В итоге рассмотрение вопросов статистики травматизма в России и мире приводят к выводу о заниженном числе несчастных случаев на производстве в статистике нашей страны.

Библиографический список

- 1. Министерство труда и социальной защиты РФ.** Доклад о результатах мониторинга условий и охраны труда в Российской Федерации в 2016 году. URL: http://eisot.rosmintrud.ru/attachments/article/47/results_2016.doc (дата обращения 10.12.2020).
- 2. Тихонова Г., Чуранова А.** «Многолетний анализ особенностей учёта несчастных случаев на производстве в России» // Демографическое обозрение, №2. – 2019. С.140 – 160.

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

РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Под информационными технологиями в управлении безопасностью жизнедеятельности принято понимать, системную последовательность операций, выполняемых над информацией посредством применения средств и методов автоматизации.

К таким операциям, например, относятся действия по сбору и хранению данных, выработке управляющего воздействия.

Использование информационных технологий, реализованных на базе программно-аппаратных средств, позволяет более эффективно решать многие задачи в области безопасности жизнедеятельности. Например, задачи анализа опасностей, идентификации вредных и опасных факторов, определение воздействия негативных факторов на техносферу и человека, защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях и др.

Информационные технологии, которые связаны с управлением безопасностью жизнедеятельности, могут существенно различаться по составу, назначению, надежности, степени автоматизации и объему задач для решения.

Для нынешнего этапа эволюции информационных технологий характерно наличие большого числа направлений развития, но к основным тенденциям следует отнести, ориентацию на структурную сложность управляемых предприятий. При этом все подразделения объединяются в единое информационное целое.

Таким образом, актуальным и перспективным является исследование вопросов применения и развития информационных технологий в области безопасности жизнедеятельности.

Библиографический список

- 1. Путивцева Н. П., Наливко К. В., Лекова А. Е.** «Информационные технологии поддержки принятия решений» – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnye-tehnologii-podderzhki-prinyatiya-resheniy-1/viewer> (дата обращения 5.12.2020)
- 2. Щербаков Ю.С.** «Информационные технологии в управлении безопасностью жизнедеятельности», – Новосибирск: СГТА, 2009. 113 с.

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

К ОЦЕНКЕ РЕАЛИЗОВАННЫХ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Вопросы улучшения условий труда на рабочем месте требуют оценки не только текущих величин воздействующих на работников факторов, но и рассмотрения множества иных вариантов возможной модернизации рабочего места, с целью улучшения условий труда.

Данная работа посвящена расчёту нескольких вариантов светотехнических решений, применительно к учебной лаборатории кафедры БЖД ИГЭУ, также произведено сравнение уже реализованной в лаборатории Д-401 системы искусственного освещения с нормативными требованиями, а также с полученными светотехническими расчётами.

Проведение светотехнических расчётов проводилось на основе построенной трёхмерной модели помещения, с заданными характеристиками поверхностей отражения света, а также применяемыми искусственными источниками света.

Работа проводилась с использованием следующего оборудования и инструментов.

- ПО «DIALux» – построение расчётной модели и проведение светотехнического расчёта.
- Люксметр-пульсметр «ТКА-ПКМ 05» – измерение фактической освещённости в учебной аудитории при системе искусственного освещения.
- ПО «Компас-3D» – визуализация фактических данных освещённости на рабочем месте.
- Лазерная рулетка – снятие размеров помещения.

Проведённая работа позволила высоко оценить реализованную в лаборатории систему освещения, которая удовлетворяет существующим нормативным требованиям. Необходимости модернизации системы освещения, например, на трёхрядное не выявлено.

Библиографический список

1. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054197>
2. DIALux – расчет и проектирование освещения. [Электронный ресурс] – URL: <http://www.dialux-help.ru> (дата обращения: 07.02.2021).
3. Справочная книга по светотехнике, под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1983. 472 с.

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

К ВЫБОРУ СОВРЕМЕННОГО ИНСТРУМЕНТА СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЁТА

В настоящее время проведение светотехнических расчётов различной степени сложности немислимо без применения компьютерной техники и соответствующего программного обеспечения (ПО).

Особенностью развития светотехнического ПО является то, что новый функционал появляется в рамках расширения возможностей уже существующего ПО, а не за счёт появления новых программных продуктов [1].

К основным программам светотехнического класса можно отнести DiaLux, Relux, LiteStar, Lightscape / 3D studio Viz, Light-in-Night, WinElse. Данное ПО является универсальным, но у каждой программы можно выделить и собственные особенности.

На территории России наибольшую популярность имеет программа DiaLux, которая, например, использовалась при реализации крупного проекта «Светлый город» в Иваново, в ходе которого была произведена замена газоразрядного городского освещения на светодиодное [2].

Современный инструмент светотехнического расчёта должен позволять учитывать следующие основные факторы:

- тип объекта освещения (уличное освещение, интерьер и т.д.);
- вид осветительной установки, её сложность;
- совместимость с существующими базами технических характеристик источников света;
- характеристики поверхностей отражения;
- импорт расчётной трёхмерной сцены из иных программных продуктов, позволяющих строить более сложную геометрию.

Применение современного инструмента светотехнического расчёта позволяет разработать многовариантный проект освещения; получить фотореалистичное изображение будущей осветительной установки уже на стадии чертёжной документации.

Библиографический список

1. **Макаров Д.Н.** Методы компьютерного моделирования осветительных установок. Диссертация на соискание учёной степени к.т.н. Москва, 2007.
2. **Светлый город.** Как в Иваново модернизировали уличное освещение. – URL: https://ivanovo.aif.ru/society/details/svetlyy_gorod_kak_v_ivanove_modernizirovali_ulichnoe_osveshchenie (дата обращения 5.12.2020).

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

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В КОТЕЛЬНОЙ

Котельная с водогрейными котлами КВ-Г-7,56-95Н обеспечивает независимое снабжение горячей водой и отопление потребителей.

Производство тепловой энергии сопровождается техногенными детерминированными воздействиями и может сопровождаться возникновением стохастических. Техногенное детерминированное воздействие является вещественным или энергетическим воздействием технетического элемента техногенной системы на работника. Стохастические воздействия совершаются вследствие происшествий.

- Информационная модель предстаёт компьютерным описанием
- компонентного состава техногенной системы, отображающей технологию производства тепловой энергии (рис. 1);
 - функции компонентов системы и их конкретного исполнения;
 - разновидностей вещества и энергии, присущих технетическим элементам, определяющим содержание техногенных воздействий;
 - детерминированных воздействий, их источников, посредников и показателей, обуславливающих эффекты техногенного воздействия;
 - происшествий и стохастических техногенных воздействий.

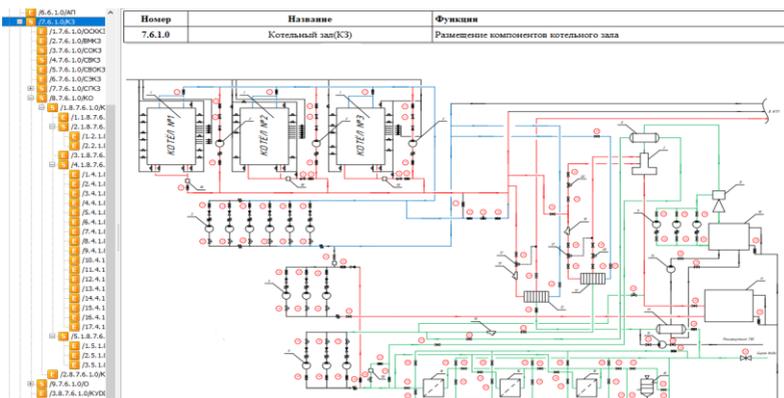


Рис.1. Фрагмент информационной модели

Научная задача данного исследования заключается в разработке информационной модели безопасности производства тепловой энергии для решения вопросов охраны труда.

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

АНАЛИЗ МЕТОДИК ОЦЕНКИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА

Профессиональный риск – это вероятность причинения вреда здоровью в результате воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов при выполнении работником обязанностей по трудовому договору.

В докладе произведен сравнительный анализ наиболее значимых на данный момент методик оценки индивидуального профессионального риска (ИПР), а именно, разработанных и используемых в структурах Газпрома и Росатома, а также методики, разработанной институтом охраны и условий труда г. Клин.

Первые две методики основаны на использовании данных об имевших место или возможных происшествиях на исследуемом рабочем месте, и на оценке возможных последствий этих неблагоприятных событий. При этом широко применяется метод экспертных оценок, как для определения возможных происшествий, так и для определения тяжести их последствий. При этом совершенно не учитывается состояние оборудования и здоровья работников, их возраст и стаж работы во вредных условиях.

От большинства этих недостатков свободна методика [1]. Однако и она не учитывает состояние оборудования. Кроме того, при оценке ИПР, на наш взгляд, следует учесть возможность работы на многих рабочих местах инвалидов. Этот учет можно произвести, скорректировав уравнение (2) методики [1] путем добавления в него слагаемого, учитывающего состояние оборудования. Учет наличия на рабочем месте инвалидов, можно произвести путем незначительной корректировки таблицы методики [1], заменив последнюю строку, таблицы учитывающей таблицы состояния здоровья работников тремя строками для каждой группы инвалидов. В докладе приведено подробное описание предлагаемой методики оценки ИПР.

Библиографический список

1. Симонова Н.А. Оценка индивидуального профессионального риска [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.kiout.ru/info/publish/22928>.

*Р.С. Сизарев, студ.; рук. А.Г. Горбунов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СОТОВЫХ ТЕЛЕФОНОВ

Мобильные телефоны используются нами повсеместно. В тоже время они являются источниками электромагнитного поля сверхвысокой частоты (1900 МГц и др.). Известно, что электромагнитное поле (ЭМП) любых частот, а особенно сверхвысоких, оказывает воздействие на биологические объекты как в целом, так и на отдельные ткани и органы. Это воздействие характеризуется плотностью потока энергии ЭМП (ППЭ ЭМП) и энергетической экспозицией (ЭЭ), являющейся произведением последней на время облучения в часах [1]. Как показали наши исследования, при обычном разговоре излучатель телефона находится на небольшом, порядка $r \approx 1,5$ см, расстоянии до головного мозга. Следовательно, можно предположить наличие значительного воздействия на него. Целью работы было измерение ППЭ, создаваемой телефонами различных марок и фирм. Измерения производились прибором ПЗ-33М. На основании анализа решений уравнений Максвелла для излучателя [2] электромагнитное поле в его окрестностях условно разделяют на 3 зоны: индукции, дифракции и дальнюю зону. Последняя начинается на расстояниях $r \gg \lambda/2\pi$, где λ – длина волны. При этом только в дальней зоне существует бегущая волна, в которой формируется поток энергии ЭМП, плотность которого измеряет прибор ПЗ-33М. Для исследуемых телефонов $f_{\text{раб}} = 1900$ МГц, а, следовательно, $\lambda/2\pi \approx 2,5$ сантиметра. Поэтому излучатель располагался на расстоянии $R = 30$ см от антенны прибора, чтобы гарантированно быть в дальней зоне. Поскольку в дальней зоне ППЭ обратно пропорционально квадрату расстояния до излучателя полученное таким образом значение ППЭ необходимо умножить на $(R/r)^2 = 400$. В докладе приводятся результаты измерений ППЭ телефонов различных марок и фирм и рекомендации по предотвращению их неблагоприятного воздействия.

Библиографический список

1. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.consultant.ru › document › cons_doc_LAW_203183
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. 263 с.

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

СОСТАВЛЕНИЕ КАРТ РИСКА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

В докладе излагается краткая характеристика опасностей для электромонтёра, возникающих при выполнении операции по ремонту разъединителей на подстанции филиала ПАО МРСК Центра и Приволжья «ИвЭнерго». Рассматриваются вредные и опасные факторы, воздействующие на электромонтёра, и последствия различных форм тяжести, которые могут произойти при выполнении работ.

Для анализа возможных последствий опасных воздействий составляют карты риска.

Карты риска – это набор документов, в которых указываются вредные факторы, риски, которые имеют место при выполнении той или иной работы в электроустановках. Кроме того, в картах риска указываются последствия перечисленных факторов, а также способы предотвращения данных ситуаций или действий в случае проявления указанных факторов.

Карты риска прописываются для каждой работы, которые выполняются в электроустановках. Они являются дополнительной мерой безопасности при организации работ по наряду-допуску или распоряжению.

Также производится периодическое редактирование и дополнение карт риска новыми рисками, соответствующими им последствиями и мерами безопасности, применяемыми для минимизации риска. Кроме того, в них указывают вероятные негативные климатические факторы, вследствие которых возможно получение работником теплового удара или переохлаждения.

При составлении карт риска необходимо использовать результаты специальной оценки условий труда, которая является многофункциональным комплексом последовательно осуществляемых мероприятий по идентификации вредных и опасных факторов производственной среды, а также трудового процесса и оценке уровня их воздействия на работника.

Библиографический список

1. ГОСТ 12.0.230.5-2018 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Системы управления охраной труда. Методы оценки риска для обеспечения безопасности выполнения работ». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200160465> (30.11.20).

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

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАНУЛЕНИЯ С ФЕРРОМАГНИТНЫМ РЕ-ПРОВОДНИКОМ

Целью моего доклада является разработка методики расчета зануления, в котором в качестве РЕ-проводника используется материал с ферромагнитными свойствами. Применение такого материала позволяет значительно уменьшить использование дефицитной и дорогой меди. При этом в качестве РЕ-проводника может быть использована стельная труба, в которой проложен силовой кабель, подводящий электроэнергию к электроустановке.

Проектирование зануления с использованием РЕ-проводника из материала ферромагнитными свойствами имеет свои особенности, поскольку на переменном токе в ферромагнитном РЕ-проводнике начинает сказываться поверхностный эффект, значительно увеличивающий как активное, так и реактивное сопротивление.

Я предлагаю проектировать РЕ-проводник методом последовательных приближений. В первом приближении рассчитываем сопротивление петли «фаза-ноль» по [1] без учета поверхностного эффекта. Определяем плотность тока в РЕ-проводнике и по таблицам [2] в зависимости от его формы и плотности тока в нем корректируем значения активного и реактивного сопротивлений. Затем уточняем по [1] с учетом новых данных плотность тока в РЕ-проводнике, а по [2] – новое значение активного и реактивного сопротивления РЕ-проводника, тока в петле «фаза-ноль» и новое значение плотности тока в РЕ-проводнике. Итерации продолжаем до тех пор, пока предыдущее значение тока в петле «фаза-ноль» не будет отличаться от следующего на приемлемое значение. Обычно это отличие не должно превышать 10%. В докладе приведены расчетные формулы и подробный алгоритм расчета.

Библиографический список

- 1. Горбунов А.Г.** Основы безопасности жизнедеятельности в энергетике: Учеб. пособие/ ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический институт имени В.И. Ленина». – Иваново, 2017. 160 с.
- 2. Долин П.А.** Справочник по технике безопасности. – 5-е изд., перераб. и доп. – М., Энергоиздат, 1982. 800 с.

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

ВЛИЯНИЕ ЭМП СОТОВОГО ТЕЛЕФОНА НА ЧЕЛОВЕКА

Проблема биологического действия электромагнитного поля (ЭМП) возникла в конце 50-х годов XX века. Развитие радиосвязи, радиолокации, радиовещания, телевидения, и других систем привело к повышению общего уровня ЭМП различных частотных диапазонов, интенсивностей и режимов генерации в окружающей среде. Проблема сохранения здоровья без всяких сомнений всегда была актуальной, поэтому я постаралась выяснить в работе, как влияет сотовый телефон на наше здоровье.

Каждый мобильный телефон испускает электромагнитное излучение, которое влияет на здоровье человека. Данную характеристику назвали SAR. Согласно определению, SAR (или Specific Absorbtion Rate) – это единица измерения, показывающая максимальную удельную мощность, поглощаемую человеческим телом при обычном разговоре по сотовому телефону. Этот параметр численно соответствует мощности электромагнитного поля сотового телефона, воздействующей на каждый килограмм головного мозга человека. Подробнее об этом воздействии можно узнать в докладе. Несогласованность международных норм безопасности, отсутствие согласования по методикам проведения измерений нормируемых параметров приводит, в частности, к тому, что сертифицированные в одной стране промышленные изделия могут не соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям в других странах.

В своей работе я подробно описала методики оценивания воздействий, привела конкретные примеры на конкретных моделях телефонов и главной своей задачей посчитала не только описать влияние ЭМП, но и дать рекомендации по защите от его воздействия.

Библиографический список

1. Гигиенические проблемы неионизирующих излучений. Под редакцией Ю.Г. Григорьева и В.С. Степанова. Том 4. М.: Изд. АТ, 1999
2. Григорьев О.А., Меркулов А.В., Темников А.Г. Оценка электромагнитной обстановки в районах размещения базовых станций системы сотовой связи // *Electromagnetic fields and human health*. М, 1999. P. 114-115
3. Ратынский, М.А. Основы сотовой связи – М.: Радио и связь – 2010

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

МЕТОДЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ НАДЗОРНО-КОНТРОЛИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ ЗА СОБЛЮДЕНИЕМ ТРЕБОВАНИЙ ОХРАНЫ ТРУДА ПРИ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТАХ

В докладе проводится анализ полномочий Роструда по осуществлению надзорно-контролирующих функций в сфере охраны труда. Рассмотрены задачи Федеральной инспекции труда, порядок проведения инспектором Рострудинспекции проверки выполнения норм трудового права, а также порядок применения и содержание проверочных листов Рострудинспекции [1].

Электромонтажные работы являются завершающим этапом строительно-монтажного производства, что в значительной степени определяет сроки окончания строительства и качество объекта в целом. Кроме того, от качества их выполнения в огромной степени зависит безопасность эксплуатации объекта.

К наиболее значимым факторам, влияющим на снижение качества электромонтажных работ, относятся следующие: нарушение технологии; низкий уровень квалификации работников; плохую организацию труда и отсутствие контроля за качеством выполнения операций.

Рассмотрен порядок осуществления государственного надзора за качеством производства электромонтажных работ, организации контроля качества и приемки электромонтажных работ. По результатам проверок Роструда определены виды ответственности за нарушения требований трудового законодательства.

Проанализированы обстоятельства и причины опасного поведения работников, которые привели к несчастным случаям при проведении электромонтажных работ в электроустановках на объектах, подконтрольных Ростехнадзору.

Составлены рекомендации для предупреждения и профилактики возможных несчастных случаев, обеспечения безопасного поведения работников при выполнении ими электромонтажных работ.

Библиографический список

1. Приказ Роструда от 13.06.2019 № 160 «Об утверждении Административного регламента осуществления Федеральной службой по труду и занятости федерального государственного надзора за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права».

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

О НОВОМ ПОРЯДКЕ ПРОВЕДЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ОСМОТРОВ РАБОТНИКОВ

С 1 апреля 2021 года начинают действовать приказ Минздрава России № 29н [1] и приказ Минтруда России № 988н, Минздрава России № 1420н [2]. Новый порядок проведения медицинских осмотров [1] будет действовать до 1 апреля 2027 года и содержит ряд новых требований. В частности, в направлении на медосмотр добавилось указание номера медицинского страхового полиса обязательного и (или) добровольного медицинского страхования. Периодический осмотр работников стал допускаться к проведению мобильными медицинскими бригадами врачей-специалистов медицинской организации. Список контингентов заменили списком работников, подлежащих медосмотру, с указанием должности и вредных факторов. Список работников в Роспотребнадзор должны отправлять теперь только отдельные отрасли и организации, указанные в приказе [2]. В списке работников должны указываться должность и фактор, установленный в результате специальной оценки условий труда (СОУТ). Медицинский осмотр для офисных работников придётся проводить, если на работника воздействует электромагнитное поле широкополосного спектра частот (5 Гц - 2 кГц, 2 кГц – 400 кГц), т.е. спектра, который измеряется как излучение от компьютера. Персонал медицинских организаций направляется на медосмотры в полном составе. Также на медосмотры направляются работники организаций, деятельность которых связана с коммунальным и бытовым обслуживанием населения.

Библиографический список

1. Приказ Минздрава России от 28.01.2021 № 29н «Об утверждении Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров работников, предусмотренных частью четвертой статьи 213 Трудового кодекса Российской Федерации, перечня медицинских противопоказаний к осуществлению работ с вредными и (или) опасными производственными факторами, а также работам, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры».
2. Приказ Минтруда России № 988н, Минздрава России № 1420н от 31.12.2020 «Об утверждении перечня вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные медицинские осмотры при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры».

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

К ВОПРОСУ РАССЛЕДОВАНИЯ И УЧЁТА НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Расследование и учёт несчастных случаев на производстве регламентируются соответствующими статьями Трудового кодекса Российской Федерации (ст. 227-231 ТК РФ) [1]. Формы составляемых при расследовании документов приводятся в Постановлении Минтруда России № 73 [2]. В период распространения пандемии (COVID-19) значительное количество работников перешли на дистанционный режим работы, при котором фактически работодатель не может контролировать, каким образом работник соблюдает требования по охране труда. Эти вопросы могут быть учтены в трудовом договоре о дистанционной работе (ст. 312.3 ТК РФ).

В обязанности работодателя в отношении дистанционных работников также входят расследование и учёт несчастных случаев; выполнение предписаний должностных лиц контролирующих органов; обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний [3]; ознакомление работников с требованиями охраны труда при работе с оборудованием и средствами, рекомендованными или предоставленными работодателем. Во избежание несчастных случаев, работодателю рекомендуется проводить медицинские осмотры для дистанционных работников. Однако работодатель может не проводить за счёт собственных средств медицинские осмотры для дистанционных работников, если это не предусмотрено трудовым договором. Обязанности работодателя по обеспечению безопасных условий труда могут быть предусмотрены коллективным договором, а также локальными нормативными актами, принимаемыми с учётом мнения профсоюза организации.

Библиографический список

1. «Трудовой кодексе Российской Федерации» от 30.12.2001 № 197-ФЗ
2. Постановление Минтруда России от 24.10.2002 № 73 «Об утверждении форм документов, необходимых для расследования и учёта несчастных случаев на производстве, и положения об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях».
3. Федеральный закон от 24.07.1998 № 125-ФЗ (ред. от 24.02.2021) «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний».

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

О НОВЫХ ПРАВИЛАХ ПО ОХРАНЕ ТРУДА

С 1 января 2021 года начал действовать целый ряд новых правил по охране труда при проведении работ в различных отраслях экономики. Полный перечень новых или обновленных правил, которые будут действовать до 31 декабря 2025 года, включает более тридцати позиций. В их числе правила по охране труда при эксплуатации электроустановок [1], при размещении, монтаже, техническом обслуживании и ремонте технологического оборудования [2], при работе с инструментом и приспособлениями [3] и другие.

Практически во всех новых правилах предусматривается право работодателя в зависимости от специфики своей деятельности и исходя из оценки уровня профессионального риска в целях контроля за безопасным производством работ применять приборы, устройства, оборудование и (или) комплекс (систему) приборов, устройств, оборудования, обеспечивающих дистанционную видео-, аудио- или иную фиксацию процессов производства работ. Также в новых правилах допускается возможность ведения документооборота в области охраны труда в электронном виде с использованием электронной подписи или любого другого способа, позволяющего идентифицировать личность работника. В ряде правил уточняются вредные и опасные факторы и актуализируются требования охраны труда.

Вступление в действие новых правил по охране труда требует от работодателей направить членов комиссии по охране труда на обучение в соответствующих организациях; организовать обучение и провести внеочередную проверку знаний работников в объёме новых правил, применительно к выполняемым работам; оформить результаты внеочередной проверки; провести актуализацию локальных нормативных актов, инструкций по охране труда, программ обучения.

Библиографический список

1. Приказ Минтруда России от 15.12.2020 № 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок».
2. Приказ Минтруда России от 27.11.2020 № 833н «Об утверждении Правил по охране труда при размещении, монтаже, техническом обслуживании и ремонте технологического оборудования»
3. Приказ Минтруда России от 27.11.2020 № 835н «Об утверждении Правил по охране труда при работе с инструментом и приспособлениями».

*О.Е. Фонарёва, студ.; рук. Ю.Ю. Рогожников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ПО ОХРАНЕ ТРУДА

Разработка и внедрение автоматизированных систем, в том числе в области охраны труда, направлено на повышение качества производительности труда. Право работодателя вести документооборот в области охраны труда в электронном виде с использованием электронной подписи или любого другого способа, позволяющего идентифицировать личность работника, закреплено практически во всех новых и обновленных правилах по охране труда при проведении работ в различных отраслях экономики.

Требуют автоматизации следующие операции: интеграция со смежными системами; учёт охраны окружающей среды; учёт расследования происшествий, несчастных случаев, аварий; учёт специальной оценки условий труда (СОУТ); промышленной безопасности; пожарной безопасности; спецодежды, средств индивидуальной защиты (СИЗ), смывающих и обезвреживающих средств; документооборот. Причём каждое множество операций включает целый ряд функций. Например, операции по учёту СОУТ включают следующие функции: учёт результатов и контроль проведения СОУТ, формирование отчетности, рабочих мест; загрузка файлов с результатами СОУТ; формирование комиссии для проведения СОУТ на рабочих местах; печатных документов; оценка обеспеченности СИЗ; комплексная оценка состояния условий труда на рабочем месте; формирование карты специальной оценки рабочего места; статистических форм отчетности 1-Т (условия труда); сводной аналитической отчетности по СОУТ.

Среди множества компьютерных систем, которые позволяют автоматизировать работу специалиста по охране труда, широко используется система «ИнформЦентр: Охрана труда», которая включает в себя более 15 подсистем [1]. Система также поддерживает принятие управленческих решений, на основе накопленных данных.

Библиографический список

1. «Семейство программных продуктов для автоматизации деятельности специалистов по охране труда, промышленной, пожарной и экологической безопасности на платформе «1С:Предприятие 8» [Электронный ресурс]. – Лысьва: ООО «Информ Центр», 2021. – Режим доступа: <http://www.ot-soft.ru/files/opisaniye-ot-dlya-1s.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

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

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В КОТЕЛЬНОЙ

Производство тепловой энергии в котельной, использующей в качестве топлива природный газ, сопровождается техногенными детерминированными воздействиями и может сопровождаться возникновением стохастических.

Информационная модель безопасности предстаёт компьютерным описанием

- компонентного состава техногенной системы, отображающей технологию применения природного газа (рис.1);
- функции компонентов системы и их конструктивного исполнения;
- разновидностей вещества и энергии, ингерентных технетическим элементам, определяющим содержание техногенных воздействий;
- детерминированных воздействий, их источников, посредников и показателей, обуславливающих эффекты техногенного воздействия;
- техногенных происшествий и стохастических воздействий.

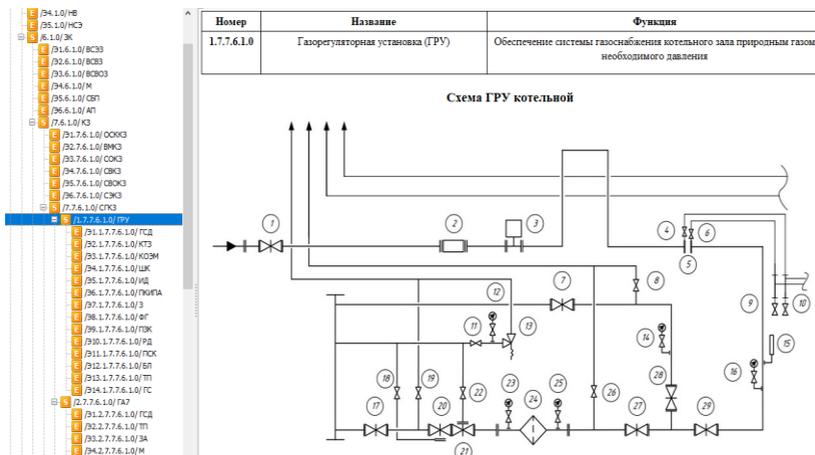


Рис. 1. Системнологическое представление технологии применения природного газа

Научная задача, поставленная в рамках данного исследования, заключается в разработке информационной модели безопасности применения природного газа при производстве тепловой энергии, посредством которой можно анализировать условия труда.

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

ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ГАЗОВ В ГРУППОВОМ ЦИКЛОНЕ

На кафедре БЖД ИГЭУ разработана новая версия программы «Cyclon», которая позволяет рассчитать параметры нескольких типов центробежных групповых циклонов. Программа используется студентами при выполнении курсового проекта по дисциплине «Системы защиты окружающей среды». Расчеты выполняются по методике, описанной в [1, 2].

В программе рассчитываются:

- интегральные характеристики дисперсности пыли;
- гидравлическое сопротивление группового циклона;
- эффективность очистки газа, заданного состава;
- запылённость газа на выходе из циклона
- объёмный поток уловленной пыли и др.

Для тестирования программы задавались специально подобранные наборы исходных данных и производились расчеты. В исходных данных задавались различные фракционные составы пыли, составы и расходы газов, их температуры и другие параметры.

Результаты расчетов сравнивались с ожидаемыми результатами. Основная часть ожидаемых «верных» результатов была получена расчетом «на калькуляторе». Кроме того, были проведены тесты при задании «неправильных» данных для проверки степени защищенности программы.

В результате тестирования программы выявлен ряд ошибок в описаниях входных и выходных данных, а также в программировании расчетных формул, поскольку некоторые результаты расчета отличались от «ожидаемых» правильных величин.

Предложены рекомендации улучшению форматов представления исходных данных и результатов расчета.

Библиографический список

1. Юдашкин М.Я. Пылеулавливание и очистка газов в черной металлургии/ М.Я. Юдашкин. – М.: Металлургия. – 1984. – 320 с.
2. Соколов А.К. Проектирование устройств защиты атмосферы и гидросферы: Учеб.-метод. пособие для курсового проектирования/ ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2006. – 80 с.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ГАЗА В ЦЕНТРОБЕЖНОМ ЦИКЛОНЕ ОТ ДИСПЕРСНОСТИ ПЫЛИ

Проведено численное исследование зависимости η для пыли различной дисперсности. Расчеты выполнены по программе «Cyclon», разработанной на кафедре БЖД ИГЭУ. В программе реализована известная методика расчета.

В табл. 1 приведены фракционные составы пыли, для которых проведены расчеты группового центробежного циклона ЦН-15 (количество циклонов в группе – 6, диаметр циклона – 700 мм, коэффициент динамической вязкости газа $\mu=21,41 \cdot 10^{-6}$ Па·с, истинная плотность пыли 1300 кг/м^3).

Таблица 1. Варианты дисперсных составов пыли (в числителе средний размер частиц, мкм; в знаменателе % по массе)

№	Размер частиц					
	<5	5–10	10–20	20–30	30–40	>40
1.	2/20	8/30	15/20	23/10	35/10	50/10
2.	4/20	9/20	14/10	26/20	36/10	45/20
3.	3/10	7/10	17/10	25/20	33/20	45/30
4.	3/10	7/10	17/10	25/10	33/10	45/50

На рис. 1 приведена расчетная зависимость эффективности очистки газа от пыли от медианного диаметра частиц, мкм.

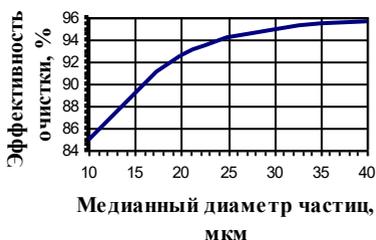


Рис.1. Зависимость эффективности очистки газа от дисперсности пыли

По рис. можно без расчета оценить обеспечит ли один центробежный циклон экологическую безопасность выброса.

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

БЕЗОПАСНОСТЬ ВОЗДУХООБМЕНА, РАССЧИТАННОГО НОРМАТИВНЫМ МЕТОДОМ С УЧЕТОМ СУММАЦИИ ВРЕДНОГО ДЕЙСТВИЯ ВЕЩЕСТВ

В Своде правил [1] и других документах указано, что при одновременном выделении в помещение нескольких вредных веществ, обладающих эффектом суммации действия, воздухообмен $L_{вс}$ следует определять по сумме расходов воздуха L_i , рассчитанных по формуле

$$L_{в,i} = G_{в,i} / (x_{уд,i} - x_{пр,i}), \quad (1)$$

где $G_{в,i}$ – расход i -го вещества, поступающего в воздух помещения, мг/ч; $x_{уд,i}$ – концентрация вредного или взрывоопасного i -го вещества в удаляемом из помещения воздухе, мг/м³ (рекомендуется принимать равной ПДК_i); $x_{пр,i}$ – концентрация вредного или взрывоопасного i -го вещества в подаваемом в помещение воздухе, мг/м³.

Выполнена проверка безопасности воздушной среды помещения при одновременном выделении в помещение двух вредных веществ. Один из вариантов исходных данных приведен в табл.

Таблица. Характеристики выделяемых в помещении веществ, обладающих эффектом суммации вредного действия

i	$G_{в,i}$, мг/ч	$x_{пр,i}$, мг/м ³	ПДК, мг/м ³
1	200	0,1	0,6
2	400	0,2	1,0

Рассчитав расходы воздуха L_1 и L_2 по (1), определили их сумму, согласно [1], $L_{вс} = L_1 + L_2 = 400 + 500 = 900$ м³/ч. Концентрации веществ в рабочей зоне при суммарном расходе воздуха $L_{вс}$ нашли по формуле

$$x_{уд,i} = (G_{в,i} / L_{вс} + x_{пр,i}). \quad (2)$$

Для веществ, указанных в табл., они получились равными $x_{уд,1} = 0,322$, $x_{уд,2} = 0,644$ мг/м³.

Подставив концентрации двух веществ в условие безопасности

$$x_{уд,1} / \text{ПДК}_1 + x_{уд,2} / \text{ПДК}_2 \leq 1 \quad (3)$$

получили $0,322 / 0,6 + 0,644 / 1 \leq 1$ или $1,18 \leq 1$.

Условие безопасности не выполняется. Следовательно, расход приточного воздуха $L_{вс} = 900$ не обеспечит безопасные концентрации двух вредных веществ.

Библиографический список

- СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054205>

*И.Р. Ракутин, студ.; рук. А.К. Соколов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОЕКТ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ УСЛОВИЙ, ЗАПРЕЩАЮЩИХ СБРОС СТОЧНЫХ ВОД В ВОДОЕМЫ

Качество воды в водоёмах для нужд населения и рыбохозяйственного назначения нормируется [1, 2]. Нормами установлены не только правила определения нормативных сбросов, но и условия, запрещающие сброс сточных вод.

Для оценки экологической безопасности сброса сточных вод планируется разработка программа для ПК, с помощью которой можно будет проверять соблюдение правил запрещающих сброс сточных вод в водоемы.

Логические условия, проверяющие соответствие сброса нормативным требованиям [1] описаны в работе [3].

Входные данные и константы программы (числовые и текстовые) должны описывать параметры сточных вод, состояние водоема, предельно допустимые значения концентраций веществ и ограничения на их превышение. Например, при сбросе сточных вод содержание взвешенных веществ в контрольном створе не должно увеличиваться по сравнению с естественными условиями более чем на $\Delta c = 0,25$ или $\Delta c = 0,75$ мг/дм³ в зависимости от категории водопользования [1].

Программа должна последовательно проверить экологическую безопасность взвешенных веществ, плавающих примесей, допустимость превышения температур, ограничения на окраску воды, запахи, pH, концентрацию растворенного кислорода, ХПК и другие характеристики водоема, указанные в [1]. Проверив условия безопасности, программа должна сообщить о допустимости сброса или о его запрете.

Библиографический список

1. СанПиН 2.1.5.980-00. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902083726>
2. **Методика** разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей. Утв. Приказом МПР РФ от 17.12.2007 г. № 333, с изменениями от 29.07.2014 [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902083726> (Дата обращения 07.04.2015.)
3. Ракутин И.Р., Соколов А.К. Формализация правил, запрещающих сбросы сточных вод в водоёмы рыбохозяйственного назначения. Тепловые и ядерные энерготехнологии// Пятнадцатая всероссийская (XII международная) науч.-техн. конференция «Энергия-2020»: Т. 2. – Иваново: ФГБОУ ВО ИГЭУ, 2020 – с. 68.

СЕКЦИЯ 12
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ

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

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

В.С. Голдовский, студ. (ИГЭУ, г.Иваново);
рук. Н.И. Перов, к.ф.-м.н., доц.
(ГАУК ЯО «Центр им. В.В. Терешковой», г.Ярославль)
ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО
СТРОЕНИЯ ЗВЕЗД

При рассмотрении вопросов, касающихся строения и эволюции звезд, используются известные и новые уравнения состояния. Так, для политропных моделей звёзд используют формулу:

$$p = K \rho^\gamma, \quad (1)$$

где p и ρ давление и плотность соответственно в точке на некотором расстоянии r от центра звезды, а K и γ некоторые константы. Формально, это уравнение может быть рассмотрено как уравнение адиабаты, но, в отличие от него, коэффициент γ не определяется отношением C_p / C_v , а может быть любой положительной величиной.

Но для реальных звезд различных типов учитывается их неоднородность, путем разбиения звезды на ряд сферических слоев, в которых плотность считается постоянной.

При $\gamma \neq \text{const}$ уравнение (1) предстанет в виде:

$$(p / p_c) = (\rho / \rho_c)^{1+1/f(r/R)}. \quad (2)$$

p_c - давление в центре звезды, R_c - радиус звезды, f - некоторая функция определяемая свойствами внутри звезды.

Используя уравнение равновесия (3) и уравнение (2):

$$dp / dr = -\rho Gm(r) / r^2 \quad (3)$$

получим обобщённое уравнение Лэна-Эмдена (4), где по оси y отложена зависимость плотности звезды на некотором расстоянии от центра к плотности в самом центре: $y = \rho(r) / \rho_c$, а по оси x зависимость расстояния от центра к радиусу самой звезды: $x = r / R$.

$$\frac{d}{dx} \left\{ x^2 y^{1/f} \left[-\frac{1}{f^2} \cdot \frac{df}{dx} \ln y + \left(1 + \frac{1}{f}\right) \frac{dy}{dx} \cdot \frac{1}{y} \right] \right\} + 4\pi R^2 G \frac{\rho_c^2}{p_c} x^2 y = 0. \quad (4)$$

В работе рассмотрены следующие типы звезд:

1. Нормальные (на примере Солнца);
2. Белые карлики;
3. Нейтронные звезды.

В работе представлены численные и графические решения уравнения. Полученные данные расширяют сведения о внутреннем строении звезд. Углубленные знания позволят в будущем описать и предсказать свойства многих звёзд.

*А.А. Добров; А.В. Рязанов, асп.; рук. С.М. Дмитриев, д.т.н., проф.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ПЕТЛЕВЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ОПУСКНОЙ КАМЕРЕ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Одним из вопросов определения теплогидравлической эффективности работы ЯЭУ является исследование процессов перемешивания потоков теплоносителя, поступающего по нескольким петлям циркуляции в опускную камеру реактора. Такие исследования позволяют уточнить распределение температуры на входе в активную зону и в петлях теплообмена, что особенно важно в режимах работы реакторной установки с несимметричной нагрузкой.

Доклад посвящен визуализации результатов экспериментальных работ, направленных на изучение турбулентного течения теплоносителя в модели опускной камеры ядерного реактора. Используя метод инъекции пассивной контрастной примеси в одну из четырех петель циркуляции теплоносителя, изучался процесс течения теплоносителя в опускной камере реактора. На основе эксперимента получены значения объемной концентрации трассера в отдельных точках модели характеризующие особенности и закономерности течения потока теплоносителя. Для визуализации результатов был использован программный комплекс Matlab. Полученные в ходе обработки экспериментальных данных поля концентрации трассера в характерных областях модели напорной камеры позволили провести анализ особенностей движения и перемешивания петлевых потоков теплоносителя. Экспериментально получен и визуализирован эффект закрутки потока теплоносителя в опускном канале и в нижней напорной камере модели.

Полученные результаты могут быть использованы для валидации расчетов в программах вычислительной гидродинамики и доработки их математических моделей.

*Д.В. Доронков, А.Н. Пронин, соиск.; Д.С. Доронкова, асп.;
рук. С.М. Дмитриев, д.т.н., проф.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г.Нижний Новгород)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА ВВЭР С ТВСА

В докладе представлены результаты экспериментальных исследований локальной гидродинамики потока теплоносителя активной зоне реактора ВВЭР, состоящей из ТВСА–Т и ТВСА-Т.mod.2.

Моделирование процессов течения теплоносителя в пучке твэлов проводилось на аэродинамическом стенде. Исследования осуществлялись на модели фрагмента активной зоны реактора ВВЭР, состоящей из одного сегмента ТВСА–Т и двух ТВСА-Т.mod.2. Измерение поля давлений потока проводилось, пятиканальным пневмометрическим датчиком. Полученное поле давлений согласно зависимостям, полученным при тарировке, пересчитывалось в направление и величину вектора скорости теплоносителя. Для получения детальной картины течения потока была выделена характерная область поперечного сечения модели, включающая межкассетное пространство и четыре ряда твэлов каждой из топливных сборок.

При реализации данного исследования был проведен анализ пространственного распределения проекций скорости потока, который позволил выявить закономерности обтекания теплоносителем дистанционирующих, перемешивающих и комбинированных дистанционирующих решеток, были определены величины поперечных потоков теплоносителя, вызванных обтеканием гидравлически неидентичных решеток и установлена их локализация в продольном и поперечном сечениях модели, а также был выявлен эффект накопления гидродинамических возмущений потока в продольном и поперечном сечениях модели, вызванный шахматным расположением гидравлически неидентичных решеток.

Результаты исследования межкассетного взаимодействия теплоносителя между соседними ТВСА приняты для практического использования в АО «ОКБМ Африкантов» при оценке теплотехнической надежности активных зон реакторов ВВЭР и включены в базу данных для верификации программ вычислительной гидродинамики и детального поясечного расчета активной зоны реакторов ВВЭР.

*А.А. Друзева, студ.; Ю.А. Филимонова, асп.;
рук. С.М. Кузьмин, к.х.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИФфуЗИИ И АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Создание эффективных фотоактивных и полупроводниковых систем на основе порфиринов невозможно без исследования процессов, протекающих на электроде при их формировании. Ранее [1] было показано, что супероксид анион-радикал ($O_2^{\cdot-}$) может участвовать в формировании полипорфириновых пленок. В настоящем исследовании мы применяем метод циклической вольтамперометрии (ЦВА) для определения коэффициента диффузии кислорода в диметил-сульфоксиде (ДМСО) и анализа влияния 2Н-5,10,15,20-тетракис (3-аминофенил) порфирина ($H_2T(3-NH_2Ph)P$) на RedOx поведение кислорода в ДМСО.

Согласно литературным данным [2] электровосстановление кислорода в ДМСО протекает по одноэлектронному механизму и обратимо. Это позволяет воспользоваться теоретическими положениями [3] и оценить коэффициент диффузии на основании соотношения:

$$i_p = (2,69 \cdot 10^5) \cdot n^{3/2} \cdot A \cdot D_0^{1/2} C_0^* \cdot \nu^{1/2},$$

где n – число электронов, участвующих в электрохимической стадии; D – коэффициент диффузии окислителя; C – концентрация окислителя в объеме электролита; ν – скорость сканирования потенциала.

Полученные результаты хорошо согласуются с литературными данными. Анализ ЦВА кривых электровосстановления кислорода в присутствии $H_2T(3-NH_2Ph)P$ позволяет предположить, что порфирин обладает каталитической активностью в реакции электровосстановления кислорода и вступает в химическое взаимодействие с синтезируемым электрохимически $O_2^{\cdot-}$.

Библиографический список

1. Кузьмин С.М, Чуловская С.А., Парфенюк В.И. Электрохимия, 2020, 56, 347-355.
2. Sawyer DT, Roberts JL. J. Electroanal. Chem. 1966; 12; 90-101.
3. Zoski, Gynthia G. Handbook of Electrochemistry. NewYork.: John Wiley&Sons, 2007. 935 p.

*Е.В. Есавочкин, студ.; рук. М.С. Фадеева, преп.
(МК ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В COMSOL MULTIPHYSICS 5.6

Целью дисциплины ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (ИТПД) в МК ИГЭУ является овладение компетенциями: ОК 5. Использование информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности; ОК 9. Ориентирование в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности; ПК 2.1. Контролирование работы оборудования и технических систем по показаниям средств измерений и сигнализации.

Знакомство с современными цифровыми технологиями предполагает умения и знания для выполнения расчетов с использованием прикладных компьютерных программ; использования технологий обработки данных в профессионально ориентированных системах; анализа информации с применением средств вычислительной техники и программного обеспечения; применения редакторов и компьютерных программ для моделирования технологических процессов.

COMSOL Multiphysics как среда для решения большого класса теоретических и прикладных задач при обучении студентов колледжа помогает в организации самостоятельной работы студентов, позволяет сократить время, необходимое для решения трудоемких задач, делает процесс обучения более увлекательным.

В ходе исследования были изучены возможности COMSOL Multiphysics для моделирования простых физических задач, что обеспечивает межпредметную связь дисциплины ИТПД и других (физика, математика, информатика). Для моделирования двумерного электрического поля были рассмотрены разные системы заряженных тел. В случае тонкого стержня задача решена аналитически и с помощью COMSOL Multiphysics (рис.1).

Освоение компетенций дисциплины ИТПД обеспечивает формирование специалистов, готовых к осуществлению профессиональной деятельности на современном производстве.

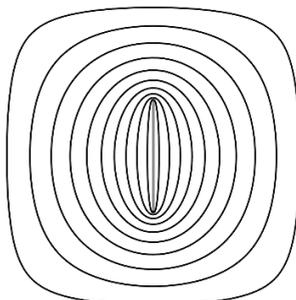


Рис. 1. Эквипотенциальные поверхности заряженного тонкого стержня

Д.Д. Зайцев, студ.; рук. А.И.Тихонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г.Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ

Моделирование физических полей в асинхронных двигателях (АД) позволяет производить более полный анализ энергетических показателей, а также производить сложные расчеты с учетом особенностей конструкции машины. Для моделирования стационарного и нестационарного магнитного поля был использован пакет Maxwell. Модель генерировалась автоматически с использованием приложения RMExpert. 2D-модель с картинкой магнитных полей и кривая разгона АД приведены на рис. 1 и 2. В настоящее время разработан алгоритм расчета АД с использованием пакета Maxwell, спроектирован трёхфазный АД мощностью 15 кВт.

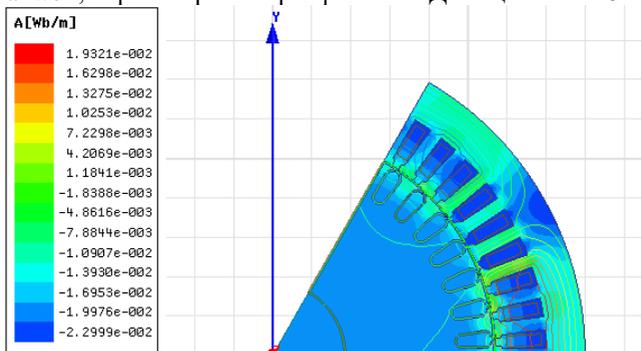


Рис. 1. Полевая модель асинхронного двигателя

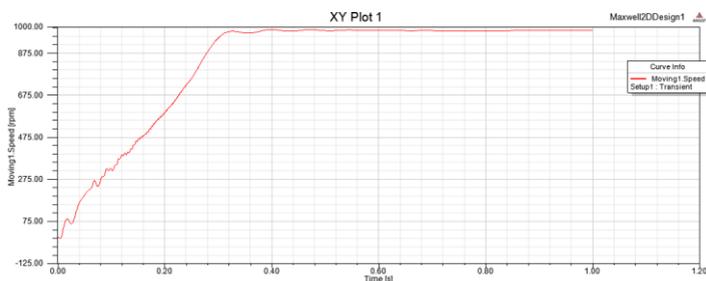


Рис. 2. Кривая изменения скорости АД в процессе разгона

*Е.А. Козлов, студ.; рук. И.В. Неверов, ст.преп.(ИГЭУ),
Е.А. Крестниковская, преп.(ОГБПОУ «ИвПЭК», г.Иваново)*
СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО КАТАЛОГА ФИЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

В современном обществе, такой ресурс как время, становится дефицитом. Не на последнем месте находятся также и такие параметры, как комфорт и свободный доступ к необходимой информации. Благодаря широкому распространению цифровых мобильных устройств, этот доступ стал возможен в любой точке пространства и времени. Цифровой каталог физических приборов удовлетворяет большинству этих параметров, что существенно облегчает доступ к необходимой информации и может быть использован в учебном процессе, как преподавателями, так и учащимися.

Данная программа была написана с использованием игрового движка Unity (версия 2019.2.11f1) под четко поставленную задачу. Помимо функций каталогизации данный проект содержит такие функции, как написание к экспонатам заметок, а также возможность добавления экспонатов в список избранных, что расширяет возможности программы и облегчает учителям подготовку к лабораторным работам. Название тем и экспонатов берутся с названий соответствующих им папок, что позволяет учителю без особых усилий модифицировать каталог под свои нужды. Количество тем и экспонатов неограниченно. Каталог имеет как компьютерную, так и мобильную версию.

Цель проекта: универсального цифрового каталога физических приборов для персональных компьютеров и мобильных устройств.

Конечной платформой для цифрового каталога физических экспонатов являются компьютеры под управлением операционной системой «Windows», а также смартфоны и планшетные ПК под управлением операционной системы «Andorid».

Универсальность цифрового каталога физических экспонатов достигается путем создания гибкой системы папок, которая позволяет использовать данное приложение для создания каталогов любой направленности. Каталог разбит на темы, а темы, в свою очередь, содержат экспонаты.

С. С. Коновальцева, асп.; рук. А.И. Александров, д.ф.-м.н., проф.
(ИвГУ, г.Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЛЕНГМЮРОВСКИХ МОНОСЛОЕВ

Ленгмюровские монослои формировались на основе комплексов железа III со структурой $[\text{Fe}(\text{L})_n]^+\text{X}^-$, отличающихся количеством, длиной и разветвленностью азотининовых лигандов, а также типом противоиона. π -A изотермы (поверхностное давление от площади на молекулу) комплексов, полученных в ходе формирования монослоев, перестраивались в координатах Фольмера [1] $\pi \cdot A = f(\pi)$ и анализировались с помощью программного комплекса, позволяющего определять параметры фазовых переходов с точностью, не превышающей погрешности эксперимента. Результаты исследования комплекса К1 ($n=1$, $\text{X}=\text{PF}_6$) с коэффициентом покрытия $k = 0,45$ приведены на рис.1. Точками отмечены фазовые границы.

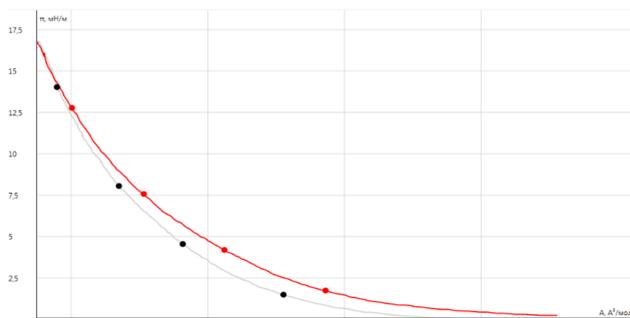


Рис. 1. π -A изотермы прямого и обратного хода плавающих слоев комплекса К1

Выяснено, что в монослое исследованные комплексы могут находиться в газовой, жидкорасширенной и конденсированной фазах. Некоторые из конденсированных фаз могут быть жидкокристаллическими. Молекулы комплексов в ходе фазовых превращений могут менять конформацию, не образуют устойчивых агрегатов, а гистерезис в ходе прямых и обратных изотерм, обусловлен потерей части гидратационной оболочки, на что указывают и смещение граничных параметров на изотерме обратного хода.

Библиографический список

1. Volmer M.Z. // Z. Phys. Chem. 1952. Vol. 115. P. 253.

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

ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ ПРИ ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИКИ В ВУЗЕ

В процессе совершенствования учебного процесса остро стоит проблема преподавания физико-математических дисциплин. Студентам необходимы системные и фундаментальные знания по физике, обеспечивающие формирование профессиональных компетенций. Для достижения высокого уровня знаний необходимо пересмотреть организацию учебного процесса, важно использовать все возможности для улучшения качества образования. Компетентностный подход предусматривает современные формы проведения занятий в сочетании с правильной организацией самостоятельной работы для формирования и развития профессиональных навыков у студентов.

При проведении дистанционных занятий возникает ряд особенностей. Готовых ресурсов, отвечающих требованиям рабочих программ, недостаточно. Возникает необходимость разработки методических рекомендаций для проведения занятий по физике при дистанционном обучении.

Для организации дистанционного преподавания физики были разработаны сценарии лекций, семинаров, тестов, отчетов по лабораторным работам по курсу общей физики, ч.1 и ч.2. Материалы прошли апробацию при обучении студентов 1-2 курсов кафедры АЭС ИГЭУ.

Особое внимание было уделено физическому практикуму. В ходе дистанционных лабораторных работ студенты имели возможность получать реальные или приближенные к реальным экспериментальные данные; производить расчёты на основе полученных данных; строить и обрабатывать графики опыта; самостоятельно производить измерения (например, по готовым фотографиям); систематизировать полученные данные в таблицах; сравнивать полученные значения с учётом погрешностей измерения; делать выводы на основе анализа данных опытов. При дистанционном обучении значительно усиливается роль самостоятельной учебной деятельности студентов.

Таким образом, проведение занятий дистанционно не является полноценной альтернативой традиционной учебной деятельности, но позволяет решить определённые задачи. Применение дистанционных форм целесообразно не только в случае чрезвычайных ситуаций, но, и при заочном обучении, а также при работе со студентами, длительно не посещающими учебные занятия по различным причинам.

*Д.А. Макаров, А.В. Шилова, студ.; рук. И.П. Игошин, к.ф.-м.н, доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ МЕЖПОЗВОНКОВЫХ ДИСКОВ НА ОСНОВЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОНИЦАЕМОСТИ ВОЛОКНИСТОЙ СРЕДЫ

Предлагаемая компьютерная система предназначена для оценки состояния и динамики деструктивных изменений межпозвонкового диска (МПД). Результатом использования этой системы являются рекомендации для хирургических действий и перечень препаратов для терапевтического лечения с указанием способа их применения. Известно, что время принятия решений при хирургических процедурах ограничено, поэтому, разработка удобного в обращении автоматизированного справочника–руководства, несомненно, является актуальной.

Основным элементом компьютерной системы является комплект геометрических моделей проницаемости пульпозного ядра (ПЯ) МПД [1]. Выбор модели, соответствующей клиническому случаю, осуществляется в два этапа: 1) используя отношение высоты исследуемого диска к наибольшей высоте одного из соседних дисков (результаты МРТ обследования), система выбирает геометрическую модель с наиболее близким значением этого параметра; 2) используя значения внутридискового давления (ВДД) и времени проникновения измерительной капли (измерения, полученные до начала пункционной механической декомпрессии МПД [2]), система уточняет выбор геометрической модели.

Результатом работы системы является документ СПР (состояние, прогнозы и рекомендации) в котором содержатся:

- а) описание вязкоупругих свойств ПЯ в данный момент времени;
- б) динамика развития деструктивных изменений в ПЯ;
- в) рекомендации по хирургическим процедурам;
- з) лечебные препараты и методика их применения.

После процедуры механической декомпрессии и вакуумной аспирации хирург обычно повторяет измерение ВДД. В компьютерную систему вводятся новые данные, и формируется окончательный документ СПР, в котором уточняется пункт з).

Библиографический список

1. Степаньчев Д.В., Шагушин В.С, Игошин И.П. Моделирование проницаемости волокнистой среды, Иваново ИГЭУ, «Энергия 2020», материалы конференции, т.2, с 101
2. Смирнов В.П. и др. Диагностика, моделирование и коррекция давления внутри межпозвонковых дисков. Российский нейрохирург. журнал. Том X, № 3-4, 2018, с 61-67.

*Т.В. Махов, студ.; О.А. Кабанов, к.ф.-м.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ЦЕПНЫХ МОДЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK SIMPOWERSYSTEM

Цепными называются модели, построенные на основе математического аппарата обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Данный аппарат может быть использован при описании процессов во времени в системах любой природы, в том числе физических, химических, технических, экологических, экономических и т.п.

Частным случаем систем, описываемых системой ОДУ, является электрическая цепь, построенная из пяти видов параметров: L – индуктивность, R – сопротивление, C – емкость, E – источник ЭДС и I – источник тока. Например, простейшая одноконтурная электрическая цепь (рис. 1) описывается уравнением

$$e(t) = L \frac{di(t)}{dt} + R \cdot i(t) + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt. \quad (1)$$

Эта же схема может быть использована при моделировании механического узла, схема которого представлена на рис. 2 и который описывается уравнением

$$F(t) = m \frac{dv(t)}{dt} + r \cdot v(t) + k \int_0^t v(t) dt. \quad (2)$$

Для моделирования охлаждения однородного тела может использоваться электрическая схема замещения, представленная на рис. 3. Аналогичные схемы могут быть построены для гидравлических, пневматических и прочих цепей.

В пакете MatLab Simulink для моделирования физических процессов любой природы используется библиотека SimScare. Однако практически все задачи могут быть решены и с использованием электрических схем замещения с помощью пакета SimPowerSystem.

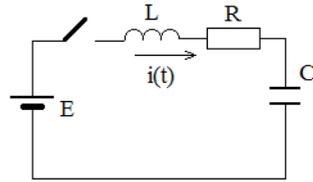


Рис. 1. RLC-цепь

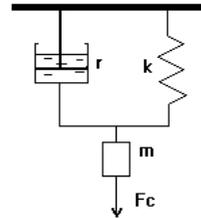


Рис. 2. Механический узел

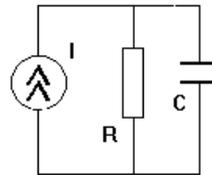


Рис. 3. Схема замещения тепловой цепи

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

ПОСТРОЕНИЕ КРИВОЙ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА НА ОСНОВЕ ОСЦИЛЛОГРАММЫ НАМАГНИЧИВАЮЩЕГО ТОКА

Подсистема построения кривой магнитного гистерезиса электротехнической стали осуществляется подсистемой (рис. 1), входящей в состав САПР однофазного радиотрансформатора, реализованной в среде MatLab. В ходе испытаний опытного образца трансформатора снимается осциллограмма первичного напряжения $u(t)$ и намагничивающего тока $i_0(t)$. По отфильтрованным кривым строится кривая мгновенной мощности $p_0(t) = u(t) i_0(t)$. Интегрируя кривую $p_0(t)$ за период, находим мощность ХХ, по которой определяем сопротивление ветви намагничивания R_μ в схеме замещения трансформатора. Мгновенное потокоцепление первичной обмотки находим по формуле

$$\Psi(t) = \frac{u(t)}{2\pi f}, \quad (1)$$

где f – частота питающего напряжения.

Построенную кривую намагничивания и сопротивление R_μ подставляем в схему, имитирующую пуск трансформатора на ХХ, реализованную в Simulink. Получаем хорошее совпадение с экспериментом.

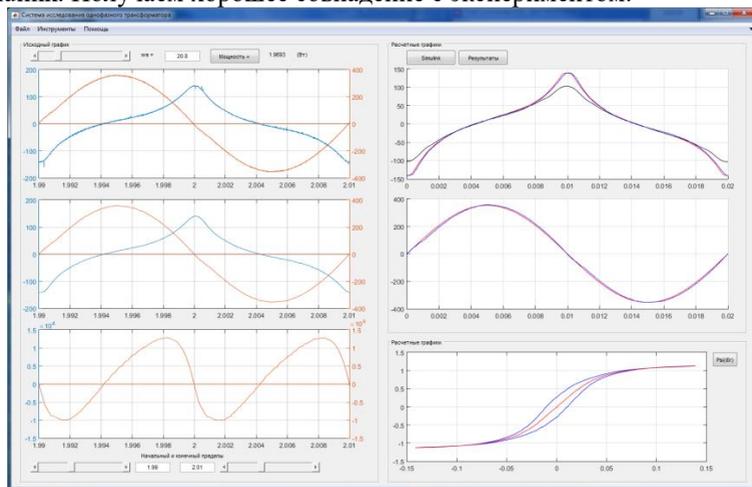


Рис. 1. Окно подсистемы построения кривой магнитного гистерезиса электротехнической стали

*В.Е. Розин, студ; рук. Е.Г. Розин, к.ф.-м.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ НАПРЯЖЕНИЯ В СРЕДЕ MatLAB

Повреждения трансформаторов напряжения, связанные с возникновением явления феррорезонанса, являются очень распространенными в энергосистемах. Существующие способы борьбы с феррорезонансом эффективны не во всех возможных случаях, из-за чего эта проблема остается актуальной в современных реалиях.

Необходимость применения устройств защиты трансформаторов напряжения от феррорезонанса обуславливается стремлением снизить затраты на замену поврежденных трансформаторов и уменьшить вероятность отключения потребителей для проведения ремонтных работ.

Феррорезонанс – это нелинейный резонанс, возникающий в электрической цепи, включающей в себя емкость и нелинейную индуктивность. В рассматриваемом случае цепь состоит из емкости фаз на землю в ЛЭП, а нелинейная индуктивность представлена трансформатором напряжения с ферромагнитным сердечником. В работе рассмотрены различные условия возникновения феррорезонанса, такие как: дуговые однофазные замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью, неполнофазные режимы работы сети и отключение ненагруженной ЛЭП многоразрывным выключателем.

Помимо моделирования условий возникновения феррорезонанса в электрических сетях, в работе рассматриваются возможности защиты трансформаторов напряжения от резонансных явлений.

*А.А. Сатаев, асп.; Д.И. Новиков, А.М. Самойлов, студ.;
рук. В.В. Андреев, д.т.н., проф.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г.Нижний Новгород)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ СИЛ

В судовой ядерной энергетической установке (ЯЭУ) величина расхода теплоносителя, а, следовательно, и температуры в характерных областях активной зоны может испытывать колебания под влиянием качки корабля. Эти колебания связаны с действиями внешних возмущающих сил (сил инерции, связанных с переносным и кориолисовым ускорением, а также с изменением вектора силы тяжести в подвижной системе координат) [1].

Для моделирования колебаний на базе «Лабораторного комплекса экспериментальных теплофизических стендов» кафедры «Ядерные реакторы и энергетические установки» были изготовлены несколько экспериментальных стендов. На первом этапе был изготовлен экспериментальный стенд для моделирования колебаний в одной плоскости на теплогидравлическую модель. Эти колебания повлияли на процессы перемешивания, происходящие в модели. Основное влияние они оказали на время переходного процесса, градиент температуры, вертикальную составляющую проекции скорости.

Однако, исследование колебаний только лишь в одной плоскости не показывает всей полноты явления качки. Кроме того, требования [2] и [3] предусматривают испытания в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Для этих целей был разработан стенд для испытания теплогидравлических моделей на качку в двух плоскостях. Он представляет собой раскачивающуюся в двух плоскостях платформу, установленную на крестообразном подвесе, оснащённую двумя взаимонезависимыми ортогональными плоскостями подвеса [4]. Таким образом стало возможным моделирование как отдельных колебаний как в одной, так и во второй плоскости, так и их совместное действие, что требует учета их разности фаз и амплитуд.

Библиографический список

1. Крамеров А.Я., Шевелев Я.В. Инженерные расчёты ядерных реакторов. — М.: Атомиздат, 1964.
2. НД 2-020101-112. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки атомных судов и плавучих сооружений. СПб., 2018.
3. ГОСТ 30630.1.7-2013 Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий.
4. Патент на полезную модель РФ № 202079, 03.11.2020. Двухплоскостной стенд для испытаний на качку и способ его применения для испытания теплогидравлических моделей// Бюл. № 4 от 29.01.2021 / Андреев В.В., Сатаев А.А.

*Н.М. Сидоров, И.А. Степанов, студ.; рук. А.В. Ившин, ст. преп.
(СПбПУ, г.Санкт-Петербург)*

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ТУК-ГРАФИТ

В настоящее время вопрос о цифровизации основных производственных процессов является наиболее актуальным. В рамках процесса вывода из эксплуатации (ВЭ) АЭС применение современных программных систем для подготовки документации, создания цифровой копии объекта и организации объединённой информационной системы позволяет сократить сроки работ, а также экономические издержки.

При ВЭ АЭС с реакторами РБМК-1000 образуется значительное количество радиоактивных отходов (РАО), которые потребуется удалить с площадки АЭС в пункты переработки или захоронения. Одним из таких материалов является облучённый графит (ОГ), в котором содержатся радионуклиды с удельной активностью порядка $10^4 - 10^6$ Бк/г, что требует обеспечения радиационной безопасности при обращении с ним.

В рамках работы был смоделирован транспортный упаковочный комплект ТУК-Графит из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ) в программном комплексе SCALE, получены значения мощности эквивалентной дозы (МЭД) на поверхности и на расстоянии 1 м от контейнера для различного содержимого с принятыми ранее в [1] упрощениями (напр., гомогенизация содержимого). Результаты представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчёта биологической защиты в различных программных системах

Программная система	Материал защиты	Величина защиты, мм	МЭД на расстоянии 1 м, мЗв/ч
MCC 3D [1]	Бетон + ВЧШГ	Бетон/засыпка – 150 мм	0,03
	Песок + ВЧШГ		0,03
SCALE	Бетон + ВЧШГ	ВЧШГ – 110 мм	0,03
	Песок + ВЧШГ		0,03

По результатам проведённых расчётов значительного расхождения с полученными в работе [1] значениями не наблюдается, требования радиационной безопасности удовлетворяются.

Библиографический список

1. Сидоров Н.М., Ившин А.В., Федорович Е.Д. Расчёт биологической защиты транспортного контейнера для облучённого графитового замедлителя ядерных реакторов типа РБМК-1000. Журнал: Вопросы атомной науки и техники (ВАНТ). Серия: Ядерно-реакторные константы, 2020, выпуск 1, 1:13, с. 140 – 153.

*А.А. Сильченко, студ.; рук. И.В. Неверов, ст. преп. (ИГЭУ),
Е.А. Крестниковская, преп. (ОГБПОУ «ИвПЭК», г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА НА ВОЗДУХ В ПОМЕЩЕНИИ

При каждом вдохе здоровый взрослый закачивает в легкие примерно 0,5 л воздуха. В среднем в минуту совершается 15 - 16 вдохов, следовательно, всего лишь за минуту через органы проходят 8 - 9 л, за час – около 500 л, за сутки – 12 000 л или 12 кубометров воздуха. Такой объем весит 14 кг. Воздух – это смесь газов, основную долю в котором составляют азот и кислород (98 - 99%). На азот приходится 4/5 части вдыхаемого воздуха, и он бесполезен для жизнедеятельности органов.

Цель исследования: определение факторов человека, оказывающих наиболее сильное влияние на воздух.

Задачи исследования:

- осуществить подбор необходимого материала и его анализ;
- провести ряд опытов, раскрывающих физические характеристики моего организма; сделать необходимые расчёты и вычисления.

Предмет исследования: состав воздуха в помещении в присутствии человека.

Методы исследования:

- теоретический (сбор и изучение материала в различных источниках: литература, интернет-ресурс);
- экспериментальный (измерения, расчет физических данных).

Результаты исследования:

В этой научно-исследовательской работе был изучен вопрос о влиянии человека на воздух в помещении, наиболее сильно оказываемых факторах воздействия на воздух, также были изучены более подробно механизмы теплоотдачи и дыхание человека.

Были проведены следующие эксперименты:

1. Определение дыхательного объема и жизненной ёмкости лёгких;
2. Расчёт вдыхаемого воздуха за определённое время;
3. Расчёт объёма чистого (без учета мебели и людей) воздуха в комнате.

Выводы:

1. Наиболее сильное влияние на воздух оказывают – лёгкие человека.
2. Изучив среднестатистические данные по тепловыделению организмов при различного рода нагрузках можно заключить, что тепловыделение от человека приносит весомое влияние на воздух, хотя и менее выраженное, чем лёгкие.

*Х.М.Х. Фодоль, студ.; рук. Н.В. Прохорова, ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ НЕЛИНЕЙНОГО ТРАНСФОРМАТОРА В MATLAB SIMULINK

Модель нелинейного трансформатора строится на основе управляемого источника тока в первичной цепи и управляемого источника ЭДС во вторичной цепи. Ветвь намагничивания представлена активным сопротивлением, имитирующем потери в стали, и управляемым источником тока намагничивания, величина которого рассчитывается по кривой намагничивания ферромагнитного сердечника, заданной в форме $i_0(\Psi)$. Потери в обмотках и в сердечнике рассчитываются по мгновенным значениям соответствующих токов. Тепловая цепь охлаждения трансформатора представлена электрической схемой замещения, позволяющей рассчитывать температуры обмоток и сердечника в заданном масштабе времени.

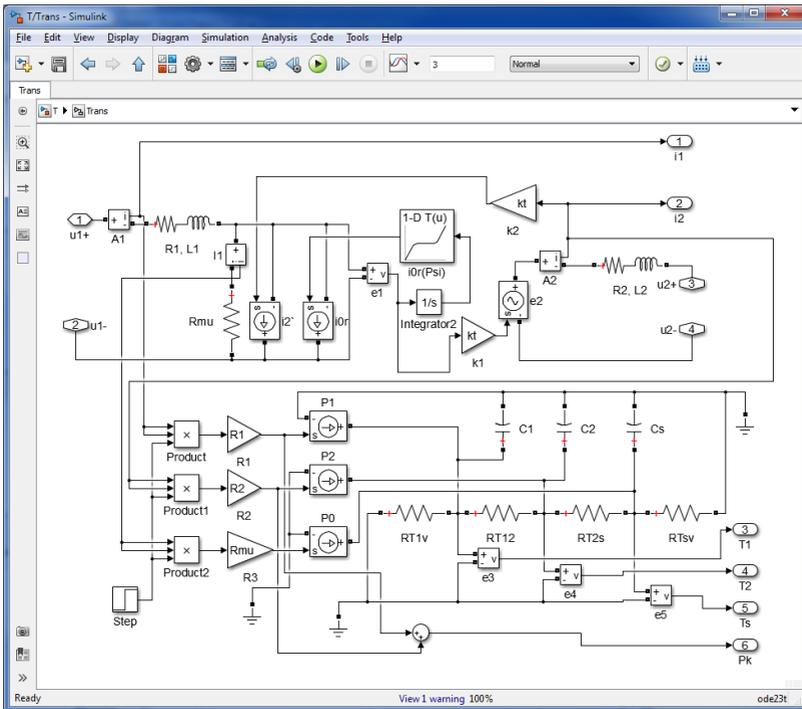


Рис. 1. Модель нелинейного трансформатора

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

МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ОБМОТКЕ ТРАНСФОРМАТОРА В MATLAB SIMULINK

При работе силового трансформатора в проводниках его обмоток выделяется тепло, которое затем рассеивается в окружающую среду. Рассматривая обмотку в виде неоднородно цилиндра, состоящего из проводников, разделенных изоляцией, можно определить распределение температуры в сечении обмотки, решая задачу теплопроводности в цилиндрической системе координат r - z . При этом тепловое поле описывается уравнение Пуассона

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_r r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -p,$$

где λ_r, λ_z – удельные теплопроводности вдоль соответствующих осей координат; T – температура; p – удельная мощность тепловыделений.

Для решения данного уравнения методом конечных разностей в среде MatLab была написана программа (рис.1), позволяющая получить распределение температуры в сечении обмотки при задании граничных условий первого, второго и третьего рода. Конечно-разностная сетка строится автоматически по заданным размерам расчетной области.

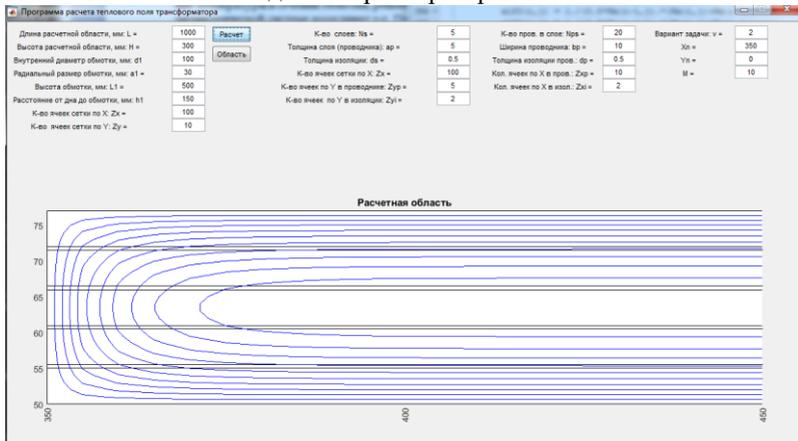


Рис. 1. Модель теплового поля обмотки трансформатора

*Ю.А. Филимонова, асп.; А.А. Друзева, студ.;
рук. С.М. Кузьмин, к.х.н., доц. (ИГЭУ, Иваново),
В.И. Парфенюк, д.х.н., проф. (ИХР РАН, Иваново)*

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ПОРФИРИНА НА ЭЛЕКТРОХРОМНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЁНОК

Электрохромные материалы нашли широкое применение в оптических устройствах различного типа: смарт-стёклах, элементах устройств отображения информации, электрохромных зеркалах и тепловых радиаторах переменного излучения. Материалы на основе порфиринов существенным образом изменяют свои спектральные характеристики при изменении потенциала [1], что позволяет рассматривать их в качестве электрохромных материалов. Важной характеристикой для таких материалов является обратимость их электрохромных свойств, т.е. возможность вернуться в исходное состояние при изменениях потенциала.

Поэтому, актуальным является как исследование процессов с участием порфиринов, приводящих к формированию полипорфириновых материалов, так и изучение изменения спектральных характеристик этих материалов при варьировании потенциала.

Ранее [2] установлено, что полипорфириновые пленки получают на поверхности электрода при потенциалах электровосстановления кислорода. В настоящей работе показано влияние положения функционального заместителя в гидроксифенилпорфирине на морфологию полипорфириновых пленок тетраакис-5,10,15,20-(4-гидроксифенил) порфирина и тетраакис-5,10,15,20-(3-гидроксифенил) порфирина, их спектральные и электрохромные свойства. Установлены области потенциалов, в которых изменяют свои спектральные характеристики и охарактеризована величина этих изменений. Показано, что спектральные изменения на полученных полипорфириновых плёнках из ДМСО квазиобратимы.

Библиографический список

1. Savenije T.J., Koehorst R.B.M., Schaafsma T.J. J. Phys. Chem. B. 1997. V. 101. P. 720.
2. Kuzmin S.M., Chulovskaya S.A., Parfenyuk V.I. Electrochim Acta. 2020. V. 342. P. 136064.

Содержание

<i>Секция 9. Атомные электрические станции</i>	3
Бакин А.И. Применение програмных пакетов при оптимизации режима работы регенеративных подогревателей АЭС; рук. Работаев В.Г.	4
Белов В.В. Опыт эксплуатации энергоблоков 1000 МВт на уровне мощности 104 %; рук. Ильченко А.Г.	5
Весовщиков Г.В. 3d-Моделирование энергетического оборудования; рук. Беляков А.А.	6
Земцов В.Н. Методика расчета выхода водорода из выпарного аппарата; рук. Вольман М.А.	7
Зубаков А.А. Обеспечение безопасности в новых проектах российских АЭС; рук. Ильченко А.Г.	8
Катаев М.В. Модернизация программы «СХЕМА» для расчета тепловых схем АЭС; рук. Андрианов С.Г.	9
Киршин В.Е. Совершенствование подготовки специалистов, эксплуатирующих ГЦН; рук. Работаев В.Г.	10
Коновальцева С.С. Оценка влияния переменных теплофизических свойств на температурное поле ТВЭЛа; рук. Горбунов В.А.	11
Константинов И.Г., Леденцов М.Р. Использование системы теплового аккумулирования на АЭС с ВВЭР; рук. Ильченко А.Г.	12
Крюков В.Е., Козлов А.Д. Теплоснабжение от атомных источников тепла; рук. Ильченко А.Г.	13
Мечтаева М.Н. Повышение энергетической эффективности конденсационной установки АЭС; рук. Горбунов В.А.	14
Мигалова А.Д. Радиационная безопасность при обращении с ядерным топливом и радиоактивными отходами на Кольской АЭС; рук. Токов А.Ю.	15
Новиков Д.И., Ермоленко Е.Д., Герман Н.В. Теплообмен в газонасыщенном теплоносителе ЯЭУ; рук. Андреев В.В.	16
Орлов Д.Н. Тренажеростроение в атомной энергетике; рук. Вольман М.А.	17
Пронин А.Н., Доронков Д.В., Доронкова Д.С. Экспериментальные исследования гидродинамики теплоносителя в ТВС реакторов атомных станций малой мощности; рук. Дмитриев С.М.	18
Пыхтин Д.В. Интенсификация процессов отвода тепла от оборудования АЭС посредством применения водовоздушного аэрозоля; рук. Морозов А.В.	19
Романов Д.Н. Использование жидкосолевого реактора для снижения объемов долгоживущих отходов ядерной энергетики; рук. Вольман М.А.	20

Рытиков И.А. Анализ данных эксплуатационных схем и сравнение их с нейросетевой моделью; рук. Горбунов В.А.	21
Рязанов А.В., Мартыненко С.А. Применение термоэлектрических генераторов в качестве альтернативных источников электроэнергии систем безопасности в РУ ВВЭР; рук. Хробостов А.Е.	22
Самойлов А.М., Чесноков С.А., Сатаев А.А. Моделирование влияния динамических воздействий на процессы естественной циркуляции; рук. Андреев В.В.	23
Сидоров Н.М., Степанов И.А. К вопросу об обращении с облучённым графитом уран-графитовых реакторов; рук. Федорович Е.Д.	24
Смирнов А.М. Определение основных характеристик форсунок для использования в оптимизированной системе пассивного отвода тепла ВВЭР, охлаждаемой водным аэрозолем; рук. Морозов А.В.	25
Смирнов Д.Е. Сравнение различных методов интеллектуального анализа данных по кризису теплообмена при кипении; рук. Морозов А.В.	26
Стаценко К.В. Перспективы развития АТЭЦ в России и за рубежом; рук. Вольман М.А.	27
Тихомиров Д.А. Влияние содержания неконденсирующихся газов на конденсацию пара в конденсаторе; рук. Вольман М.А.	28
Торопов Т.Д. Исследование влияния ребер жесткости на прочность теплообменного оборудования; рук. Беляков А.А.	29
Трифонов А.А. Узлы теплогидравлического блока программы «SIMINTECH»; рук. Беляков А.А.	30
Трусаков Г.К., Весовщиков Г.В. Хранилище отработавшего ядерного топлива на площадке АЭС; рук. Ильченко А.Г.	31
<i>Секция 10. Теплообмен в промышленных установках</i>	32
Шлегель Н.Е., Ткаченко П.П., Кропотова С.С. Анализ последствий вторичного измельчения капель жидкостей; рук. Стрижак П.А.	33
Дюжий М.А., Лехнер М.В., Самсонова А.Н. Моделирование теплогидравлических процессов в теплообменнике со змеевиками малого радиуса навивки на основе модели пористого тела в Ansys CFX; рук. Добров А.А.	34
Ткаченко П.П., Шлегель Н.Е., Кропотова С.С. Идентификация формы и положения границы раздела при столкновении капель жидкостей; рук. Стрижак П.А.	35
Беляков Д.С., Чибисова А.В. Исследование водопоглощения модифицированной керамики; рук. Долинин Д.А.	36
Чижикова М.М., Белов А.С. Способ получения керамики на основе	37

остатка пиролиза твердых коммунальных отходов; рук. Колибаба О.Б.	
Коровин С.Н., Рязанов С.С. О влиянии температуры обжига на прочность модифицированной керамики; рук. Самышина О.В.	38
Крайнов В.В., Суманеева К.В. Использование текстильных отходов при производстве керамики; рук. Колибаба О.Б.	39
Кустова К.Б., Сенькова Е.Л. Определение физических свойств модифицированной керамики; рук. Долинин Д.А.	40
Шавадзе С.Э., Малов А.А. К расчету теплофизических свойств твердых коммунальных отходов; рук. Колибаба О.Б.	41
Ваганова Н.Н., Казаков К.С., Громов Ф.А. Повышение эффективности теплообменных аппаратов за счет интенсификации теплообмена; рук. Нагорная О.Ю.	42
Таламаев Д.С., Перфильева В.М.; Оптимизация кинетики сушки золокерамических изделий; рук. Гусев Е.В.	43
Таламаев Д.С., Попова А.С. Влияние температуры обжига на спекаемость золокерамических изделий; рук. Гусев Е.В.	44
Гусева В.М. Определение энергоэффективности установки по переработке деревянных шпал; рук. Габитов Р.Н.	45
Морозова П.Д. Рекуперативная радиационная труба направленного излучения (РРТНИ); рук. Горинов О.И.	46
<i>Секция 11. Безопасность жизнедеятельности в техносфере</i>	47
Бобарькин А.А. Компьютерное представление системы управления охраной труда в организации; рук. Чернов К.В.	48
Фролова А.А. Исследование шума воздушных линий электропередачи и расчет выбросов паров трансформаторного масла на трансформаторной подстанции; рук. Пышненко Е.А.	49
Гайсуев Ю.Б. Защита от электромагнитных полей; рук. Горбунов А.Г.	50
Грызунова Е.Н. Влияние световой среды на зрительный аппарат человека; рук. Горбунов А.Г.	51
Гуляева Ю.С. Анализ риска ингаляционного воздействия загрязняющих веществ на население г. Иваново; рук. Пышненко Е.А.	52
Пряхин Д.Н. Расчёт системы вентиляции для производственных помещений; рук. Строев В.П.	53
Репина А.Н. Производственный травматизм в России и мире; рук. Овсянников Ю.М.	54
Рысина А.Д. Роль информационных технологий в безопасности жизнедеятельности человека; рук. Овсянников Ю.М.	55

Молодцова В.А. К оценке реализованных светотехнических решений в учебной лаборатории; рук. Овсянников Ю.М.	56
Гусева Н.В. К выбору современного инструмента светотехнического расчёта; рук. Овсянников Ю.М.	57
Шарова Т.А. Информационная модель безопасности производства тепловой энергии в котельной; рук. Чернов К.В.	58
Сидоров А.В. Анализ методик оценки индивидуального профессионального риска; рук. Горбунов А.Г.	59
Сизарев Р.С. Исследование безопасности сотовых телефонов; рук. Горбунов А.Г.	60
Тихомирова М.А. Составление карт риска для выполнения работ в электроустановках; рук. Пышненко Е.А.	61
Вайгачева О.О. Разработка методики проектирования зануления с ферромагнитным PEN-проводником; рук. Горбунов А.Г.	62
Бурлакова М.А. Влияние ЭМП сотового телефона на человека; рук. Горбунов А.Г.	63
Зинченко П.С. Методы осуществления государственных надзорно-контролирующих функций за соблюдением требований охраны труда при выполнении электромонтажных работ; рук. Пышненко Е.А.	64
Корнилова М.А. О новом порядке проведения осмотров работников; рук. Рогожников Ю.Ю.	65
Молькова А.Д. К вопросу расследования и учёта несчастных случаев на производстве; рук. Рогожников Ю.Ю.	66
Мочалова А.Н. О новых правилах по охране труда; рук. Рогожников Ю.Ю.	67
Фонарева О.Е. Об автоматизированных системах по охране труда; рук. Рогожников Ю.Ю.	68
Попова Е.А. Информационная модель безопасности применения природного газа в котельной; рук. Чернов К.В.	69
Грызунова Е.Н. Тестирование программы расчета эффективности очистки газа в групповом центробежном циклоне; рук. Соколов А.К.	70
Бурлакова М.А. Исследование зависимости эффективности очистки газа в центробежном циклоне от дисперсности пыли; рук. Соколов А.К.	71
Мухина А.И. Оценка безопасности воздухообмена, рассчитанного нормативным методом с учетом суммации вредного действия веществ; рук. Соколов А.К.	72
Ракутин И.Р. Проект программы для проверки условий, запрещающих сброс сточных вод в водоёмы; рук. Соколов А.К.	73

<i>Секция 12. Моделирование физических процессов</i>	74
Голдовский В.С. Исследование внутреннего строения звезд; рук. Перов Н.И.	75
Добров А.А., Рязанов А.В. Экспериментальное моделирование процессов перемешивания петлевых потоков теплоносителя в опускной камере ядерного реактора; рук. Дмитриев С.М.	76
Доронков Д.В., Пронин А.Н., Доронкова Д.С. Экспериментальные исследования перемешивания теплоносителя в активной зоне реактора ВВЭР с ТВСА; рук. Дмитриев С.М.	77
Друзева А.А., Филимонова Ю.А. Применение циклической вольтамперометрии для определения коэффициентов диффузии и анализа электрохимических процессов; рук. Кузьмин С.М.	78
Есавочкин Е.В. Моделирование электрического поля в COMSOL MULTIPHYSICS 5.6; рук. Фадеева М.С.	79
Зайцев Д.Д. Моделирование физических процессов в асинхронном двигателе; рук. Тихонов А.И.	80
Козлов Е.А. Создание виртуального каталога физических приборов; рук. Неверов И.В.	81
Коновальцева С.С. Исследование структурно-фазовых превращений при формировании ленгмюровских монослоев; рук. Александров А.И.	82
Ляпин Д.С. Дистанционное обучение при преподавании физики в ВУЗе; рук. Шмелёва Г.А.	83
Макаров Д.А., Шилова А.В. Компьютерная система диагностики межпозвоночных дисков на основе геометрической модели проницаемости волокнистой среды; рук. Игошин И.П.	84
Махов Т.В. Разработка цепных моделей физических процессов в среде MATLAB SIMULINK SIMPOWERSYSTEM; рук. Кабанов О.А.	85
Подобный А.В. Построение кривой магнитного гистерезиса на основе осциллограммы намагничивающего тока; рук. Тихонов А.И.	86
Розин В.Е. Моделирование резонансных явлений в измерительных трансформаторах напряжения в среде MatLAB; рук. Розин Е.Г.	87
Сатаев А.А., Новиков Д.И., Самойлов А.М. Исследование теплогидравлических процессов при воздействии внешних сил; рук. Андреев В.В.	88
Сидоров Н.М., Степанов И.А. Численное моделирование биологической защиты ТУК-Графит; рук. Ившин А.В.	89
Сильченко А.А. Влияние человека на воздух в помещении; рук. Неверов И.В.	90

Фодоль Х.М.Х. Разработка модели нелинейного трансформатора в MatLab Simulink; рук. Беляков А.А.	91
Фадеева М.С. Модель температурного поля в обмотке трансформатора в MatLab Simulink; рук. Тихонов А.И.	92
Филимонова Ю.А., Друзева А.А. Влияние структуры порфирина на электрохромные свойства плёнок; рук. Кузьмин С.М., Парфенюк В.И.	93
<i>Содержание</i>	94

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ

Шестнадцатая всероссийская (восьмая международная)
научно-техническая
конференция студентов, аспирантов и молодых учёных
«ЭНЕРГИЯ-2021»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Печатается в авторской редакции

Составитель – Вольман М.А.

Подписано в печать _____.2021. 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.