

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.И.ЛЕНИНА»

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ

«ЭНЕРГИЯ-2013»

ВОСЬМАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

г. Иваново, 23-25 апреля 2013 г.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 2

ИВАНОВО

ИГЭУ

2013

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

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ //

Восьмая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Энергия-2013»: Материалы конференции. В 7 т. Т. 2 – Иваново: ФГБОУ ВПО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2013. – 276 с.

Доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные в сорнике, отражают основные направления научной деятельности вузов России и СНГ в 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 тезисов представлены авторами в виде файлов, сверстаны и при необходимости сокращены. Авторская редакция сохранена.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель оргкомитета: проректор по научной работе д.т.н., проф. **В.В. ТЮТИКОВ.**

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

Члены оргкомитета: декан электроэнергетического факультета к.т.н., проф. **А.Ф. СОРОКИН**, декан теплоэнергетического факультета к.т.н., доц. **С.Б. ПЛЕТНИКОВ**, декан инженерно-физического факультета к.т.н., проф. **С.Г. АНДРИАНОВ**, декан электромеханического факультета к.т.н., доц. **В.Н. ЕГОРОВ**, декан факультет информатики и вычислительной техники к.т.н., доц. **В.М. КОКИН**, декан факультета экономики и управления д.э.н., проф. **А.М. КАРЯКИН**, председатель СНО ИГЭУ **Г.А. ФИЛАТОВА**, председатель СМУС д.э.н., проф. **Н.В. КЛОЧКОВА**, ст. преп. **Н.Н. СМИРНОВ**, к.э.н., асс. **О.Е. ИВАНОВА.**

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 9. Экономичность, надежность и безопасность атомных электрических станций

<i>Вольман М.А.</i> Верификация реакторных измерений на функциональном аналитическом тренажере реактора ВВЭР-1000. <i>Рук. Семенов В.К.</i>	3
<i>Макаров С.Н., Плужян К.Г., Суркова П.А.</i> Математическое моделирование кинетики холодного реактора. <i>Рук. Семенов В. К.</i>	5
<i>Седов Д.В.</i> Модернизация системы регенерации низкого давления турбоустановки с помощью струйных насосов-подогревателей. <i>Рук. Ильченко А.Г.</i>	7
<i>Пименов С.А.</i> Изучение и подтверждение переходных процессов энергоблока с реактором ВВЭР-1000 на функционально-аналитическом тренажере. <i>Рук. Щербнев В.С.</i>	9
<i>Рябинкин В.К., Сироткин Д.Н.</i> Исследование влияния формы проточной части на экономичность турбины. <i>Рук. Шошин В.Г.</i>	11
<i>Юрин В.Е.</i> Резервирование собственных нужд АЭС на основе водородного цикла. <i>Рук. Аминов Р.З.</i>	13
<i>Хурция А.В.</i> Анализ теплогидравлических свойств серийных реакторов ввэр-1000 в режиме работы на мощности, составляющей 110% от номинальной. <i>Рук. Ильченко А.Г.</i>	18
<i>Осипов В.Ю., Дьячковский Е.Е.</i> Перспективы получения энергетического урана в Якутии. <i>Рук. Степанов В.Е.</i>	20
<i>Крылов А.Р., Бугров М.С.</i> Применение парогазовых технологий для получения пиковой мощности на АЭС. <i>Рук. Андрианов С.Г., Ильченко А.Г.</i>	24
<i>Башлыков Д.О.</i> Сопоставление различных вариантов тепловых схем для АЭС с реактором типа СКДИ. <i>Рук. Хрусталеv В.А.</i>	28
<i>Кашин Д.Ю.</i> Применение кластерного анализа для оценки состояния насосов систем безопасности. <i>Рук. Лескин С.Т.</i>	32
<i>Власова А.В., Крестниковский А.Г., Петин Д.В.</i> Экспериментально-расчетное обоснование проектного ресурса трубного пучка парогенератора ПГВ-1000 МКП. <i>Рук. Токов А.Ю.</i>	35
<i>Баринov А.А., Добров А.А.</i> Разработка методики верификации CFD-кодов при исследовании гидродинамики потока в топливной сборке ТВСА для ВВЭР. <i>Рук. Хробостов А.Е.</i>	38

<i>Варенцов А.В., Гребеньков В.В., Зяблицев Д.В.</i> Экспериментальные исследования гидродинамических характеристик теплоносителя в ТВС реакторной установки КЛТ-40С	
<i>Рук. Хробостов А.Е.</i>	44
<i>Чубко Н.В., Оробей Е.А.</i> Торий-урановый цикл в атомной энергетике. <i>Рук. Софийский И.Ю.</i>	48
<i>Добров А.А., Доронков Д.В., Пронин А.Н.</i> Экспериментальные исследования гидродинамики и массообмена потока теплоносителя в ТВСА реактора ВБЭР-300. <i>Рук. Дмитриев С.М.</i>	53
<i>Спорышев М.А., Угрюмов М.М.</i> Виртуальная модель системы подпитки-продувки первого контура энергоблока с реактором ВВЭР-1000. <i>Рук. Вольман М.А.</i>	57
<i>Кудряшов В.С.</i> Организация и контроль тепловых расширений паровых турбин. <i>Рук. Работаев В.Г.</i>	59
<i>Алиакберов Е.Э.</i> Разработка элементов учебной системы автоматизированного проектирования паровых турбин. <i>Рук. Работаев В.Г.</i>	60
<i>Еловиков А.С., Петин Д.В.</i> Статистика повреждаемости теплообменных трубок парогенераторов действующих АЭС. <i>Рук. Токов А.Ю.</i>	61
<i>Власова А.В., Крестниковский А.Г., Петров Д.А.</i> Возможности повышения тепловой мощности парогенератора ПГВ-1000М. <i>Рук. Токов А.Ю.</i>	64
<i>Сироткина А.Л.</i> Регулирование водоохлаждаемого реактора со сверхкритическим давлением при переменном расходе теплоносителя. <i>Рук. Лощаков И.И.</i>	68
<i>Виноградов М.Б.</i> Технологическая система шариковой очистки трубок конденсаторов турбины К-1000-60/3000 как объект для разработки КОС. <i>Рук. Булавкин Г.В.</i>	72
<i>Виноградов М.Б.</i> Технологическая система предочистки конденсаторов турбины К-1000-60/3000 как объект для разработки КОС. <i>Рук. Булавкин Г.В.</i>	73
<i>Елагин Д.Н.</i> Разработка КОС по теплофикационной установке энергоблока №3 Калининской АЭС. <i>Рук. Булавкин Г.В.</i>	75
<i>Кочергин А.О.</i> Система запорной, регулирующей и предохранительной арматуры энергоблока № 3 Калининской АЭС как объект для разработки КОС. <i>Рук. Булавкин Г.В.</i>	76
<i>Капустин А.А.</i> Разработка КОС по технологическим системам подачи технической воды на спецкорпус, ХВО и вспомогательной питательной воды энергоблока ВВЭР-1000 с ПТУ К-1000-60/3000. <i>Рук. Булавкин Г.В.</i>	77

Содержание

<i>Смирнов С.О.</i> Разработка КОС по технологическим системам дренажного бака, дренажной системы машзала и БНС энергоблока № 3 Калининской АЭС. Рук. <i>Г.В. Булавкин</i>	79
<i>Кочергин А.О.</i> Технологическая система расхолаживания энергоблока ВВЭР-1000 с ПТУ К-1000-60/3000 через технологический конденсатор (ТК) как объект для разработки КОС. Рук. <i>Г.В. Булавкин</i>	80
<i>Кирсанов Д.Е.</i> Модернизация системы слива сепарата 2-го блока Калининской АЭС. Рук. <i>Андреианов С.Г.</i>	82
<i>Щепин С.А.</i> Система предупреждения и ликвидации аварий оборудования ПТУ К-1000-60/3000 как объект для разработки КОС. Рук. <i>Булавкин Г.В.</i>	84
<i>Щепин С.А.</i> Технологическая система гидроиспытаний трубопроводов и оборудования ПТУ К-1000-60/3000 как объект для разработки КОС. Рук. <i>Булавкин Г.В.</i>	85
<i>Шакиров Р.Р., Мечтаева М.Н.</i> Решение уравнения кинетики холодного реактора методом Галеркина. Рук. <i>Семенов В.К.</i>	86
<i>Теремов А.А.</i> Модернизация турбоустановки К-500-65 Смоленской АЭС. Рук. <i>Андреианов С.Г.</i>	87
<i>Фильченкова Д.В.</i> Модульный газотурбинный энергоблок мощностью 100 МВт на базе ВТГР. Рук. <i>Ильченко А.Г.</i>	89
<i>Тарасова А.Ф., Иванова А.Е.</i> Реакторы малой мощности – инновационный путь развития. Рук. <i>Ильченко А.Г.</i>	91

Секция 10. Теплообмен в промышленных установках

<i>Богачёва Д.Ю., Прохоров А.В.</i> Процесс сбора и анализа результатов испытаний ЖРД МТ. Рук. <i>Козлов А. А.</i>	96
<i>Наумова К.А.</i> Исследование теплотворных способностей топливных пакетов из ТБО, крошки бурого угля и отработанного масла методом радиационно-индуцированной температурной дозиметрии. Рук. <i>Степанов В.Е.</i>	99
<i>Ташев В.П., Заранкевич И.А.</i> Исследование нового вида горючего для ЖРД на основе керосина с добавками пирофорных веществ. Рук. <i>Козлов А.А.</i>	103
<i>Горбунова Е.А.</i> Исследование точности одномерных задач нагрева с граничными условиями второго рода при переменных теплофизических свойствах в пакете ANSYS. Рук. <i>Горбунов В.А.</i>	106
<i>Трусова Т.И.</i> Моделирование работы газовых горелок в программном комплексе FLOWVISION. Рук. <i>Нагорная О.Ю.</i>	107

Муратова Т.В. Разработка списка требований для проектирования кузнечного цеха. Рук. Горбунов В.А.	109
Рыбакова О.В. Исследование методов переработки твердых и жидких радиоактивных отходов. Рук. Гусенкова Н.П.	110
Перевезенцев Г.А. Разработка и моделирование теплового двигателя. Рук. Горбунов В.А.	112
Сучкова К.А. Разработка математической модели камерной нагревательной печи № 2 ивановского завода тяжелого станкостроения. Рук. Горбунов В.А.	114
Цветкова М.С., Щеголева О.И. Обследование туннельной печи для обжига керамических изделий с помощью тепловизора. Рук. Гнездов Е.Н.	115
Цветкова М.С. К расчету коэффициента одновременности работы газового оборудования. Рук. Колибаба О.Б.	117
Галанова У.Д. Нейросетевое моделирование органической массы ТБО. Рук. Самышина О.В., Нагорная О.Ю.	119
Лаврентьева Е.В. Тепловизионное обследование зданий шуйской администрации и разработка мероприятий по энергосбережению. Рук. Горбунов В.А.	121
Лебедева Е.А. Моделирование работы центробежных машин в программном комплексе FLOWVISION. Рук. Нагорная О.Ю.	123
Лопатина М. В., Габитов Р. Н. Расчетно-экспериментальный метод определения эффективного коэффициента температуропроводности пористой структуры. Рук. Колибаба О. Б.	125
Лопатина М.В., Никитин А.С. Изучение коэффициента расхода воздуха в туннельной печи для обжига керамических изделий. Рук. Гнездов Е.Н.	126
Долинин К.А. Математическое моделирование движения жидкости и газа в трубопроводах с использованием программного модуля ANSYS FLUENT. Рук. Долинин Д.А.	129
Фокина В. Н. Моделирование работы радиационно-щелевого рекуператора в программном комплексе FLOWVISION. Рук. Нагорная О. Ю.	130
Соловьёв А.М. Применение программного комплекса ANSYS для теплотехнического расчета ограждающих конструкций. Рук. Долинин Д.А.	132
Бурова Е.Е. Разработка математической модели термической печи с подподовыми топками Ивановского завода тяжелого станкостроения. Рук. Горбунов В.А.	134

<i>Андреев А. В.</i> Моделирование тепловой работы петлевого рекуператора в вычислительном комплексе ANSYS и оценка его энергетической эффективности. <i>Рук. Гусенкова Н. П.,</i>	135
<i>Поцелуев А.А.</i> Анализ и оценка технологических схем эффективного использования энергии доменного газа на ОАО «Северсталь». <i>Рук. Назорная О.Ю.</i>	138
<i>Андреев А. В.</i> К расчету нагрева пористой садки. <i>Рук. Гусенкова Н. П.</i>	141
<i>Бакиев Е.А.</i> Сезонная аккумуляция солнечной энергии. <i>Рук. Пронин В.Ю.</i>	142
<i>Тюкова М.А.</i> Моделирование нагрева металла с помощью вычислительных комплексов ANSYS и COMSOL MULTIPHYSICS. <i>Рук. Долинин Д.А.</i>	145
<i>Скворцов И. А.</i> Исследование точности расчета температурного поля сеточными методами. <i>Рук. Гусенкова Н.П.</i>	146
<i>Шагалова М.С.</i> Моделирование нагрева металла в термической печи с выкатным подом. <i>Рук. Гусенкова Н.П.</i>	148

Секция 11. Безопасность жизнедеятельности в техносфере

<i>Гусева Е.Н., Рыбалко Т.А.</i> Модернизация стендов лаборатории «Техносферная безопасность» кафедры БЖД. <i>Рук. Попов Г.В.</i>	151
<i>Борисова А.Н.</i> Оценка электромагнитного воздействия радиотелефонов на человека. <i>Рук. Горбунов А.Г.</i>	152
<i>Тюленев И.С.</i> Оценка механической прочности баков силовых трансформаторов при возникновении внутренних коротких замыканий. <i>Рук. Попов Г.В.</i>	154
<i>Литова Л.Н.</i> Воздействие микотоксинов на здоровье человека. <i>Рук. Мельцаев И.Г.</i>	158
<i>Литов П.В.</i> Об опасности радона в жилых и офисных помещениях зданий. <i>Рук. Соколов А.К.</i>	162
<i>Питерская Д.А.</i> Организационные и технические мероприятия для повышения безопасности эксплуатации магистральных электрических сетей. <i>Рук. Пышненко Е.А.</i>	164
<i>Логонова Ю.Б.</i> Техногенная безопасность и охрана труда при производстве сжатого воздуха в компрессорной станции Ивановской ДСК. <i>Рук. Чернов К.В.</i>	168
<i>Некрасова Ю.С.</i> О количестве и опасности бытовых отходов. <i>Рук. Соколов А.К.</i>	169
<i>Козлов Р.З.</i> О способах закаливания организма. <i>Рук. Соколов А.К.</i>	172

<i>Горячева Е.С.</i> Отравление человека продуктивными и непродуктивными компонентами растений. Рук. <i>Мельцаев И.Г.</i>	173
<i>Галкин Н.С.</i> Мероприятия по улучшению условий труда на петрозаводской ТЭЦ. Рук. <i>Горбунов А.Г.</i>	178
<i>Тюленев И.С.</i> Об особенностях установления предельно допустимых выбросов проектируемых и действующих предприятий. Рук. <i>Соколов А.К.</i>	179
<i>Ивкина Т.А.</i> Особенности расчета системы вентиляции для помещений с источниками тепловыделений. Рук. <i>Пышненко Е.А.</i>	181
<i>Иванкова Ю.А.</i> Опасность токсинов животного происхождения для организма человека. Рук. <i>Мельцаев И.Г.</i>	185
<i>Грошева Н.В.</i> Анализ методов оценки индивидуального риска. Рук. <i>Горбунов А.Г.</i>	189
<i>Крупина А.И.</i> Влияние фитотоксинов на состояние здоровья людей. Рук. <i>Мельцаев И.Г.</i>	191
<i>Соколова А.И.</i> Причины и характер бактериального пищевого отравления людей. Рук. <i>Мельцаев И.Г.</i>	195
<i>Закурина Е.Л.</i> Особенности трудовой деятельности на ТЭЦ. Рук. <i>Строев В.П.</i>	200
<i>Кодолов Р.А.</i> Техногенная безопасность и охрана труда при трансформации электрической энергии на Ивановской ТЭЦ-2. Рук. <i>Чернов К.В.</i>	202
<i>Тиханова Ю.А.</i> Эргонометрические особенности рабочих мест ТЭЦ. Рук. <i>Строев В.П.</i>	203
<i>Скворцова А.А.</i> Один из подходов к определению состояния силового трансформатора. Рук. <i>Виноградова Л.В.</i>	205
<i>Черемисова Н.В.</i> Применение дистанционных технологий при проведении интерактивных занятий по дисциплине «Безопасность в чрезвычайных ситуациях». Рук. <i>Рогожников Ю.Ю.</i>	206
<i>Тартин А.В.</i> Обеспечение радиационной безопасности населения. Рук. <i>Пышненко Е.А.</i>	208
<i>Романишин С.И., Степанов Д.А.</i> Отладка многофункционального тренажера «AMBU MAN» для проведения сердечно-легочной реанимации. Рук. <i>Попов Г.В.</i>	212
<i>Павлова Н.Е.</i> О показателях когнитивной адекватности безопасной деятельности при эксплуатации силовых трансформаторов ТЭС. Рук. <i>Чернов К.В.</i>	214
<i>Посылина А. А., Черная Е. Ю.</i> Электромагнитное поле и его влияние на здоровье человека. Рук. <i>Попов Г.В., Горбунов А. Г.</i>	216
<i>Заикин И.С.</i> Мероприятия по улучшению условий труда на ЗАО «СПЕЦХИММОНТАЖ». Рук. <i>Горбунов А.Г.</i>	222

<i>Некрасова Ю.С., Черемисова Н.В.</i> Преподавание уроков ОБЖ в школах. <i>Рук. Соколов А.К.</i>	223
---	-----

Секция 12. Моделирование физических процессов

<i>Куприн И.В., Скворцова А.А.</i> Сравнительный физико-химический анализ воды из родников г. Иваново и Ивановской области. <i>Рук. Неверов И.В.</i>	225
<i>Мошкин И.А., Пряников М.В.</i> Использование ИК-спектроскопии для анализа глубины реакции этерификации эпоксидов в композиционных материалах. <i>Рук. Неверов И.В.</i>	228
<i>Орлов А.А.</i> Нейтринная лаборатория как составная часть проекта АЭС. <i>Рук. Алентьев А.Н.</i>	231
<i>Щербаков М.С.</i> Модернизация лабораторной работы «измерение емкости конденсатора методом баллистического гальванометра». <i>Рук. Крылов И.А.</i>	234
<i>Медведев А.А., Большаков А.О.</i> Модернизация манометра для лабораторной работы (определение коэффициента Пуассона методом Клемана-Дезорма). <i>Рук. Абрамова Н.В., Дмитриев М.В.</i>	237
<i>Подобный А.В.</i> Двигатель Стирлинга: принцип работы и преимущества использования, перспективы дальнейшего развития. <i>Рук. Солунин М.А.</i>	241
<i>Митрофанова К.А.</i> Текстильные материалы с биоцидными свойствами. <i>Рук. Пророкова Н.П., Кузьмин С.М.</i>	245
<i>Истраткин В.А.</i> Модификация полипропиленового нетканого полотна методом прямого газового фторирования для придания ему специальных потребительских свойств. <i>Рук. Пророкова Н.П., Кузьмин С.М.</i>	247
<i>Шмелев А.С.</i> Разработка метода решения уравнения Лапласа на конечно-элементной сетке. <i>Рук. Тихонов А.И.</i>	248
<i>Северюгов Д.М.</i> Виртуальный лабораторный стенд-тренажер для исследования термодинамических систем. <i>Рук. Тихонов А.И.</i>	251
<i>Стулов А.В.</i> Метод моделирования теплового тепловых процессов в элементах технических устройств на основе электрических схем замещения. <i>Рук. Тихонов А.И.</i>	254
<i>Зайцев А.С.</i> Генетический алгоритм, как метод поиска экстремума функций различной сложности. <i>Рук. Тихонов А.И.</i>	258
<i>Мухин Ф.А.</i> Комплект численных моделей для типовых задач по физике. <i>Рук. Тихонов А.И.</i>	262
<i>Корнев И.А.</i> Численная модель электрических цепей с учётом взаимных индуктивностей. <i>Рук. Тихонов А.И.</i>	265

СЕКЦИЯ 9

ЭКОНОМИЧНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Председатель – к.т.н., доц. А. Г. ИЛЬЧЕНКО

Секретарь – студ. К.Г. ПЛУЗЯН

*М.А. Вольман, инж.; рук. В.К. Семенов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЕРИФИКАЦИЯ РЕАКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОМ АНАЛИТИЧЕСКОМ ТРЕНАЖЕРЕ РЕАКТОРА ВВЭР-1000

В основе методик определения большинства нейтронно-физических характеристик реактора лежит математическая обработка результатов реакторных измерений, содержащая обычно целый ряд допущений. В связи с этим представляется актуальным вопрос о поиске путей и методов верификации результатов обработки физических экспериментов. Эту задачу можно решить с помощью компьютерной программы, базирующейся на математической модели кинетики реактора с сосредоточенными параметрами с учетом шести групп запаздывающих нейтронов и с учетом температурных обратных связей по температуре топлива и теплоносителя.

С математической точки зрения задача кинетики реактора при обозначенных условиях представляет собой задачу Коши на основе системы взаимосвязанных нелинейных дифференциальных уравнений [1]:

$$\frac{dN(t)}{dt} = \frac{\rho - \beta}{\tau} N(t) + \sum \lambda_i N_i(t), \quad (1)$$

$$\frac{dN_i(t)}{dt} = \frac{\beta_i}{\tau} N(t) - \sum \lambda_i N_i(t), \quad (2)$$

$$m_u C_u \frac{dT_u}{dt} = N_T - kF(T_u - T_B), \quad (3)$$

$$m_B C_B \frac{dT_B}{dt} = kF(T_U - T_B) - \gamma_B C_B G(T_{\text{ВЫХ}} - T_{\text{ВХ}}), \quad (4)$$

$$\rho = \delta\rho(t) + \alpha_1(T_B - T_B(0)) + \alpha_2(T_U - T_U(0)). \quad (5)$$

Здесь $N(t)$ и ρ – число нейтронов реактора и его реактивность; β – суммарная доля запаздывающих нейтронов; τ – время жизни одного поколения мгновенных нейтронов; λ_i, N_i – постоянная распада ядер-предшественников и число запаздывающих нейтронов соответствующей группы; m_U, m_B – масса топлива и теплоносителя; C_U, C_B – удельные теплоемкости топлива и теплоносителя при постоянном давлении; k – эффективный коэффициент теплопередачи от топлива к теплоносителю; F – эффективная поверхность теплообмена; γ_B, G – плотность теплоносителя на входе в зону и его расход; T_U, T_B – средние температуры топлива и теплоносителя; $T_{\text{ВЫХ}} - T_{\text{ВХ}} = \Delta T$ – подогрев теплоносителя в активной зоне; $\delta\rho(t)$ – возмущение реактора скачком реактивности; α_1 и α_2 – коэффициенты реактивности по температуре теплоносителя и топлива, обеспечивающие саморегулирование.

Экспериментальная часть предлагаемой программы реализована на функциональном аналитическом тренажере (ФАТ), представляющем собой электронную модель энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000. Численные эксперименты по расчету кинетики реактора выполнены в среде Mathcad на основе алгоритма интегрирования жестких дифференциальных уравнений «Radau».

Рассмотрим верификацию температурных коэффициентов реактивности. Суть заключается в следующем. На ФАТе реализуем переходный процесс, заключающийся в переводе реактора с одного уровня мощности на другой при помощи перемещения регулирующего органа. При этом снимаем временные зависимости нейтронной мощности реактора, его реактивности, температуры теплоносителя на входе и выходе из реактора, давления в первом контуре и т.д. Внесенную регулирующим органом реактивность следует определить по предварительно отградуированной его характеристике. Далее проводим компьютерные численные эксперименты по расчету вышеназванного переходного процесса. В числе исходных данных для расчета используются найденные ранее из опыта коэффициенты реактивности, значение которых и подлежит верификации. Сравниваем расчетные кривые с экспериментальными зависимостями. Поскольку эксперименты проводятся на блоке, а математическая модель описывает только кинетику реактора, т. е. является незамкнутой, то в качестве гипотезы замыкания

вышеназванной системы уравнений можно использовать экспериментальную зависимость температуры теплоносителя от времени на входе в реактор. Тем самым от реактора отсекается парогенератор. Сравнение результатов расчета и эксперимента осуществляем по зависимостям нейтронной мощности, реактивности и температуры теплоносителя на выходе из реактора от времени. В случае расхождения результатов расчета и эксперимента варьируем температурные коэффициенты реактивности, добиваясь удовлетворительного совпадения кривых, уточнив тем самым эти коэффициенты. Установлено, что различие между измеренными и уточненными коэффициентами реактивности при симуляции на ФАТе работы реактора могут составлять 10% и более.

Таким образом, предложен метод компьютерной верификации результатов измерения температурных коэффициентов реактивности реактора ВВЭР-1000, который уже апробирован на электронной модели энергоблока АЭС.

Библиографический список

1. Семенов В.К. Кинетика и регулирование ядерных реакторов: учебное пособие. Иваново: Б.и. 2009. 144 с.

*С.Н. Макаров, К.Г. Плужан, П.А. Суркова, студенты;
рук. В. К Семенов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ХОЛОДНОГО РЕАКТОРА

Задачей данного исследования была разработка компьютерной лабораторной работы по математическому моделированию кинетики холодного реактора. Нами разработан комплекс программ для компьютерного моделирования процессов, происходящих в размножающей среде при нарушении условий равновесия цепной реакции и при отключенной системе регулирования мощности. При этом рассмотрены процессы, протекающие в холодном реакторе, когда влиянием температуры и различных ядов, образующихся при делении и отравляющих реактор, можно пренебречь. Такой подход применим для периода пуска реактора, быстрой остановки, а также при изменении режима его работы на низком уровне мощности. Несмотря на ограниченность полученных здесь результатов, этот раздел имеет чрезвычайно важное теоретическое и практическое значение. Дело в том, что холодный

реактор без отрицательной обратной связи по температуре неустойчив, поэтому его работа в таких условиях требует очень жесткого контроля.

Кинетика холодного реактора с сосредоточенными параметрами («точечный реактор») с учетом шести групп запаздывающих нейтронов базируется на следующей системе линейных дифференциальных уравнений [1]:

$$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{\rho(t) - \beta}{\tau} n(t) + \sum \lambda_i C_i(t), \quad (1)$$

$$\frac{dC_i(t)}{dt} = \frac{\beta_i}{\tau} n(t) - \sum \lambda_i C_i(t), \quad (2)$$

где $\rho(t)$ – реактивность реактора, β – суммарная доля всех запаздывающих нейтронов $\beta = \sum \beta_i$, $i=1 \dots 6$ номер группы запаздывающих нейтронов, t – время, C_i – мощность, вносимая i -ой группой запаздывающих нейтронов, τ – среднее время жизни одного поколения нейтронов.

Так как уравнения (1) и (2) линейные и не содержат времени в явном виде, то их решение будет выражаться экспоненциальным законом

$$n(t) = A \exp(t/T), C_i(t) = B_i \exp(t/T), \quad (4)$$

где T – характерное время, называемое периодом реактора, т.е. время, за которое мощность реактора увеличивается в e раз.

Подстановка (4) в исходную систему уравнений приводит к уравнению Нордхейма, связывающему период реактора с его реактивностью

$$\rho = \frac{\tau}{\tau + T} + \frac{T}{\tau + T} \sum \frac{\beta_i}{1 + \lambda_i T}. \quad (5)$$

Приведенная система уравнений (1) и (2) с соответствующими начальными условиями, без которых она не имеет смысла, позволяет исследовать кинетику холодного реактора при различных законах ввода положительной и отрицательной реактивности. Разработанный нами комплекс программ позволяет исследовать следующие процессы:

- Зависимость периода реактора от его реактивности при различных значениях τ ;

- зависимость мощности реактора от времени при различных законах ввода положительной и отрицательной реактивности;
- роль мгновенных и запаздывающих нейтронов;
- глушение реактора при вводе отрицательной реактивности 5β за время падения стержней ~ 3 сек.;
- провести численные эксперименты по определению времени выдержки реактора при его ступенчатом пуске после прохождения критического состояния и достижения МКУ с заданным периодом разгона.

Библиографический список

1. Семенов В.К. Кинетика и регулирование ядерных реакторов. Иваново: ИГЭУ. 2009.

*Д.В. Седов, асп.; рук. А.Г. Ильченко, к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ТУРБОУСТАНОВКИ С ПОМОЩЬЮ СТРУЙНЫХ НАСОСОВ- ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

Струйные смешивающие подогреватели являются перспективным оборудованием, находящим все более широкое применение в технике. Главными их достоинствами являются относительная простота конструкции, вследствие отсутствия движущихся частей, отсутствие недогрева среды, низкая требовательность к ее качеству. В настоящее время струйные аппараты применяются в России и за рубежом, в основном, во вспомогательных системах [1]. Таким образом, актуальной задачей является исследование возможности применения такого оборудования в системе регенерации паротурбинной установки.

Недостатки применяемых в настоящее время подогревателей поверхностного и смешивающего типа заставляют задуматься о применении в системах регенерации турбоустановок ТЭС и АЭС оборудования нового типа. Как показано в [2], таким оборудованием могут быть пароводяные инжекторы. При определенном выборе геометрических и рабочих параметров, можно получать давление на выходе из струйного аппарата несколько большим давления рабочей среды. Таким образом, аппарат выполняет одновременно функции теплообменника и насоса. Применение смешивающих насосов-подогревателей (СНП), работающих по принципу пароводяного инжектора [3] позволит зна-

чительно снизить капитальные затраты, затраты на техобслуживание и ремонт, а так же повысить надежность работы. При этом из схемы системы регенерации турбоустановки исключаются наиболее уязвимые элементы – насосы, перекачивающие воду, близкую к состоянию насыщения. Возможно также увеличение тепловой экономичности турбоустановки.

Расчет струйных аппаратов представляет собой весьма сложную задачу, поскольку на данный момент не удалось получить точного теоретического описания процессов, протекающих в этих аппаратах. Особенно сложными являются процессы в инжекторах, работающих на двухфазной среде. В связи с этим, применяемые методики расчета [3, 4, 5] базируются, в основном, на экспериментальных данных.

Проведенный расчет эффективности применения СНП в системе регенерации низкого давления турбоустановки К-220-44 для номинального режима работы [6] показал целесообразность применения струйных насосов-подогревателей. При этом сравнивались варианты схем с поверхностными и обычными смешивающими подогревателями с вариантом, использующим СНП. Выявлен существенный рост экономичности турбоустановки. Основной вклад в это повышение вносит существенное снижение капитальных затрат. КПД установки, однако, несколько снижается, что обусловлено использованием только трех ступеней подогрева. Очевидно, что в случае увеличения количества ступеней подогрева тепловая экономичность вырастет и, возможно, превысит значение экономичности для системы регенерации турбоустановки с обычными подогревателями. Однако увеличение количества СНП приведет и к увеличению капитальных затрат. Выбор количества и параметров струйных насосов-подогревателей для системы регенерации низкого давления турбоустановки в настоящее время является оптимизационной задачей, открытой для рассмотрения.

Промышленное применение СНП в системе регенерации турбоустановки требует обоснования. Для этого необходимо провести расчет СНП в совокупности с расчетом тепловой схемы турбоустановки при переменных режимах работы.

Библиографический список

1. **Williams M., Stewart P.**, WM 2010 CONFERENCE PAPER 10225, Phoenix, Arizona, the USA
2. **Trela M., Kwizdzinski R., Gtuch J., Butrymowich D.** Feasibility study on application of steam injectors as feedwater heaters in supercritical Rankine cycle. Szewalcki Inst of fluid Flow Machinery. Arch. Thermodyn. 2009. 30. №4

3. **Фисенко, В.В.** Сжимаемость теплоносителя и эффективность работы контуров циркуляции ЯЭУ. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. **Соколов, Е.Я., Зингер Н.М.** Струйные аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
5. **Циклаури, Г.В., Данилин В.С., Селезнев Л.И.** Адиабатные двухфазные течения. – М.: Атомиздат, 1973.
6. **Ильченко А.Г., Седов Д.В.** Обоснование возможности применения струйных насосов-подогревателей в системе регенерации ПТУ //Повышение эффективности энергосистем: Тр. ИГЭУ. Вып. 9. – М.: Энергоатомиздат, 2009

*С.А. Пименов, инж.; рук. В.С. Щербнев, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИЗУЧЕНИЕ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭНЕРГОБЛОКА С РЕАКТОРОМ ВВЭР- 1000 НА ФУНКЦИОНАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОМ ТРЕНАЖЕРЕ

Ядерное образование в России в настоящий момент не способно удовлетворить будущие потребности отрасли в молодых специалистах и кадрах высшей квалификации без срочного принятия специальных мер по формированию системы подготовки. Таким образом, кадровая проблема является в настоящий момент одной из ключевых проблем ядерной отрасли.

Должный уровень профессиональной подготовленности (квалификации) персонала АЭС – один из важнейших факторов обеспечения его безошибочной работы и достижения безопасной эксплуатации станции. На первый план выдвигается практическая подготовка студентов, что возможно сделать только с масштабным внедрением технических средств обучения. Наиболее эффективным путем снижения аварийности по вине человека – оператора является его тренажерная подготовка.

В настоящее время существует множество тренажеров для подготовки специалистов АЭС. Одним из них является функционально-аналитический тренажер (ФАТ) разработанный при сотрудничестве русских и американских специалистов. ФАТ – техническое средство обучения (аналитический тренажер) для подготовки персонала АЭС, поддерживающий REAL-TIME моделирование, основанное на объектно-ориентированной технологии. ФАТ соответствует системам и оборудованию энергоблока ВВЭР-1000 с ядерным реактором В-320, турбоагрегатом К-1000-60/3000. Он обеспечивает моделирование в реальном масштабе времени всех режимов эксплуатации АЭС (режимы с условиями нормальной эксплуатации, переходные режимы,

нарушение нормальной эксплуатации, проектные аварийные режимы и запроектные аварии до границ моделирования).

В данной научно-исследовательской работе произведено обоснование возможности применимости тренажёра переходных процессов и функционально-аналитического тренажёра в системе обучения студентов и подготовки персонала АЭС в УТЦ ИГЭУ. Для чего была проведена верификация модели функционально-аналитического тренажёра с данными по режимам с нарушениями условий нормальной эксплуатации, полученными в результате экспериментов, проведённых на Балаковской АЭС №2, Калининской АЭС №3.

Исследования переходных процессов проводились со 100% мощности реактора и включали в себя отключение одного главного циркуляционного насоса из 4-х работающих, отключение одного гцн из 3-х работающих (противоположного отключенному, смежного отключенному), отключение сразу двух ГЦНов, закрытие стопорных клапанов турбины, отключение турбопитательного насоса, отключение подогревателей высокого давления как одной группы, так и двух сразу. Испытания по отключениям ГЦН и ПВД были проведены на действующем 3 энергоблоке КАЭС, а по закрытию стопорных клапанов и отключению ТПН на 2 энергоблоке Балаковской АЭС. Задачами данной работы являлось проведение численного эксперимента по выполнению этих испытаний на ФАТе и сравнение полученных на модели данных по переходным процессам с данными натуральных экспериментов.

Цели испытаний по изучению поведения РУ при различных переходных процессах:

- комплексная проверка совместной работы основного и вспомогательного оборудования блока при переходе его на новый уровень мощности;
- подтверждения надежного теплоотвода от активной зоны реактора при отключенных ГЦН;
- проверка работы устройств РОМ, АРМ, ЭЧСР, регуляторов давления в 1 контуре, уровня в КД, ПГ других регуляторов блока на соответствие проектным данным;
- получение экспериментальных данных для корректировки и настройки основных регуляторов блока;
- определение величин отклонений параметров 1 и 2 контура от исходных значений в переходном процессе;
- подтверждение работоспособности АСУ ТП в объеме, обеспечивающем проведение испытания.

Верификация— (от латинского *verus* - истинный и *facio* - делаю), проверка, эмпирическое подтверждение теоретических положений науки путем сопоставления их с наблюдаемыми объектами, фактическими данными, экспериментом.

Для оценки отклонений применяется формула:

$$\Delta i = \frac{A_{\text{э}} - A_{\text{эмп}}}{A_{\text{э}}} \cdot 100\%.$$

Здесь $A_{\text{э}}$ – значение параметра, взятого из экспериментов, проведённых на Калининской АЭС №3 (Балаковской АЭС №2); $A_{\text{эмп}}$ - значение параметра, взятого из экспериментов, проведённых на ФАТе.

В данной работе был собран и проанализирован материал по режимам с нарушением условий нормальной эксплуатации; приведено детальное описание событий режимов; проведены эксперименты на ФАТе по режимам с нарушениями условий нормальной эксплуатации, во время которых были сняты зависимости различных параметров. Верификация модели функционально-аналитического тренажёра показала расходимость с натурными данными в пределах 5%. Испытания проведены в полном объеме, запланированном программой; алгоритм работы оборудования, систем регулирования, защит соответствуют проектным; во всех испытаниях были выполнены критерии успешности на уровне номинальной мощности реактора. Что же касается сравнения результатов ФАТа и реального блока – здесь имеют место незначительные отклонения, но самое главное заключается в том, что в момент проведения экспериментов не наблюдалось превышения технологических параметров выше допустимых для безопасной эксплуатации значений, как на тренажере, так и на работающем блоке АЭС.

*В. К. Рябинкин, Д. Н. Сироткин, студенты;
рук В. Г. Шошин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ НА ЭКОНОМИЧНОСТЬ ТУРБИНЫ

Одной из основных дисциплин, которые изучают студенты специальности «АЭС», является «Турбомашины АЭС». Заключительным этапом при изучении дисциплины является выполнение курсового проекта на тему «Эскизное проектирование паровой турбины».

Тепловой расчет турбины выполняется в два этапа:

1 этап – предварительный (ориентировочный) расчет – определение параметров первой и последней ступени, определение числа ступеней, их диаметров и распределение теплового перепада по ступеням.

2 этап – подробный (детальный) расчет – расчёт треугольников скоростей, потерь, КПД ступени, уточнение размеров проточной части и выбор профилей облопачивания, уточнение мощности и КПД турбоустановки.

Методика ориентировочного расчета регулирующей ступени, определения размеров первой и последней ступени, изложенная в [1,2], не вызывает трудностей, так как представляет собой алгоритм.

Распределение среднего диаметра по проточной части – важный этап ориентировочного расчета турбины. Оно влияет на распределение общего теплоперепада турбины по ступеням, на число ступеней. Кроме того определяет совершенство исполнения проточной части и экономичность турбины, как в целом, так и по ступеням.

При всей важности распределения среднего диаметра для его определения трудно подобрать рекомендации.

Графический способ построения линии среднего диаметра предполагает задавать значения диаметра вручную. При этом рекомендации к построению не трактуются единственным образом, и характер изменения плавности определяет тот, кто строит.

Способ построения линии среднего диаметра в соответствии с изменением секундного объема (произведения GV) также не является совершенным и универсальным.

В работе предложен более автоматизированный подход к формированию распределения среднего диаметра и вспомогательных параметров путем введения ряда коэффициентов. Это позволило выполнить расчеты с малым шагом изменения параметров.

Расчеты выполнены с использованием программного обеспечения по курсу «Турбомашины АЭС».

Исследуемое в работе множество вариантов распределения среднего диаметра показало, что приемлемое распределение находится в узкой области изменения.

Оценить, насколько приемлем проведенный ориентировочный расчет можно лишь по результатам детального расчета. При этом для детального расчета необходимо задать широкий ряд параметров, часть из которых не является результатом ориентировочного расчета, а относится к конструктивному исполнению ступеней. При ручном способе формирования данных число рассматриваемых вариантов ограничено в силу трудоемкости.

Программа детального расчета дает возможность реализовать расчет двумя методами. Однако реально ориентировочный расчет позволяет формировать исходные данные лишь для одного метода (для расчета по заданным высотам сопловой и рабочей решеток). Расчет вторым методом (по заданным углам выхода потока из решеток) возможен лишь для узкой области исходных данных (для нее даны рекомендации) или по итогам расчета, проведенного по заданным высотам сопловой и рабочей решеток.

Исследования определили направления дальнейшего развития программного обеспечения:

- целесообразно для программы ориентировочного расчета формировать результаты так, чтобы их воспринимала программа детального расчета или выполнять оба расчета в единой программе,
- необходимо выполнить программу ориентировочного расчета (или единую программу) таким образом, чтобы не исключалась возможность корректировки параметров любого этапа расчета без потери результатов других этапов, как предшествующих корректировке, так и следующих за ней. Особенно важно корректировать распределение среднего диаметра по проточной части, так как это определяет совершенство исполнения проточной части и экономичность турбины.

Библиографический список

1. Капелович Б.Э. Тепловой расчет паровых турбин: учебное пособие / Б.Э. Капелович. – Иваново: ИГЭУ, 1985 – 80с: ил.
2. Рабенко В.С. Предварительный расчет паровых турбин: учебное пособие. – Иваново: ИГЭУ, 1987 – 97с: ил.

*В.Е. Юрин, асп.; рук. Р.З. Аминов д.т.н., проф.
(СГТУ им. Гагарина Ю.А., г. Саратов)*

РЕЗЕРВИРОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ НУЖД АЭС НА ОСНОВЕ ВОДОРОДНОГО ЦИКЛА

В мировой практике насчитывается большое число крупных системных аварий, приводящих к вынужденному останову генерирующих источников и их обесточиванию. Для атомных электростанций этот вопрос приобретает чрезвычайную актуальность в связи с необходимостью расхолаживания активной зоны реактора.

При полном обесточивании АЭС, предусмотрен переход станции на аварийное расхолаживание реакторных установок с использованием питания от дизель-генераторов [1]. При этом главные циркуляционные

насосы, насосы циркуляционной технической воды теряют питание, что приводит к повышению давления во втором контуре, к срабатыванию БРУ-А и предохранительных клапанов ПГ, и соответственно, к сбросу пара в атмосферу. Для исключения потери рабочего тела через предохранительные клапаны второго контура и во избежание связанных с этим негативных последствий желательнее расхоложивать реактор в штатном режиме без включения быстродействующей редуцирующей установки с выбросами пара в атмосферу (БРУ-А), т.е. оставить в работе главный циркуляционный насос, электронасос питательной воды, циркуляционный насос технической воды и конденсатные насосы. В этом случае все основные циркуляционные контуры будут находиться в работе на минимальной нагрузке.

Одним из способов расхоложивания реактора в штатном режиме является расхоложивание реактора с питанием собственных нужд от дополнительной турбоустановки, которая работает на паре, генерируемом за счёт энергии остаточного тепловыделения и энергии сжигания водорода в кислороде. Дополнительная турбоустановка представляет собой паровую турбину, генератор которой синхронизирован с генератором основной турбоустановки для выдачи дополнительной мощности в сеть.

Для повышения эффективности постоянно действующей дополнительной турбины в данной работе рассмотрена схема с аккумулярованием невостребованной электроэнергии в виде водорода и кислорода в ночные внепиковые часы электрической нагрузки и использованием этой энергии для генерации и перегрева пара, поступающего на дополнительную турбину в пиковые часы [2]. При этом дополнительная турбина и водородное хозяйство могут быть размещены за пределами площадки АЭС. Возможная схема реализации указанного способа для энергоблока влажно-паровой АЭС представлена на рис 1.

Дополнительная паротурбинная всегда установка находится в работе: днем она используется для выработки пиковой электроэнергии, ночью ее нагрузка снижается до минимума. В аварийной ситуации, вызванной, например, обесточиванием, на дополнительную турбину продолжает поступать пар, генерируемый остаточным тепловыделением. По мере его уменьшения полученного пара становится недостаточно для обеспечения необходимой мощности собственных нужд, в связи с чем в камеру сгорания стехиометрического окисления пароводородного перегревателя подаются запасенные водород и кислород, и начинает впрыскиваться балластировочная вода, в результате чего образуется необходимое для поддержания мощности количество пара.

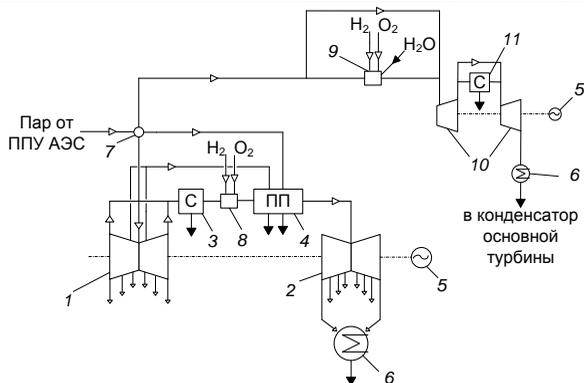


Рис.1. Принципиальная технологическая схема обеспечения общестанционного резервирования, с повышением маневренности АЭС:

1, 2 – цилиндры высокого и низкого давления паровой турбины; 3 – сепаратор; 4 – промежуточный паропаровой перегреватель; 5 – электрогенератор; 6 – конденсаторы; 7 – устройство парораспределения; 8 – пароводородный перегреватель; 9 – пароводородный перегреватель вытесненного пара с пароводяным охлаждением; 10 – дополнительная паротурбинная установка; 11-сепаратор дополнительной паротурбинной установки

Основной составляющей тепловой мощности в любом реакторе через несколько минут после останова будет тепловыделение вследствие торможения бета-частиц и передачи части энергии гамма-излучения осколков деления и продуктов их распада, которое и принято называть остаточным тепловыделением. Изменение мощности остаточного тепловыделения, в зависимости от этих процессов для ВВЭР-1000, было рассчитано по формуле Уэя-Вигнера [3]. В соответствии с уменьшением мощности остаточного тепловыделения, было рассчитано изменение расхода пара на дополнительную турбину и мощности дополнительной турбины (рис.3), при условии поддержания на входе в турбину тех же параметров пара.

Из рассмотрения графиков, приведенных на рис. 3 видно, что в течение 1 ч 6 мин. остаточного тепловыделения достаточно для поддержания необходимой для штатной разгрузки блока мощности дополнительной турбины, после чего пар генерируется в водородном пароперегревателе.

Система общестанционного резервирования СН АЭС требует рассмотрения с точки зрения обеспечения безопасности и надёжности в целом. Для оценки вероятности повреждения активной зоны реактора составим граф состояний для системы аварийного расхолаживания реактора, состоящей из 3-х каналов с дизель-генераторами, и системы

с дополнительной постоянно действующей паротурбинной установкой (рис.4).

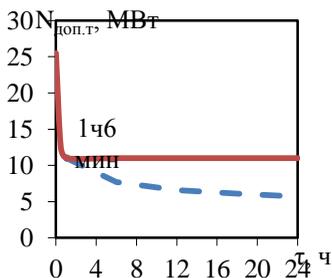


Рис.3 Зависимость мощности дополнительной паротурбинной установки от времени расхолаживания:

— — работа дополнительной турбины на паре, генерируемом остаточными тепловыделениями (до 1ч 6 мин.) и водородным парогенератором;
- - - - работа дополнительной турбины на паре, генерируемом остаточными тепловыделениями.

При решении учитывалось, что при незапуске ДГ с заданной вероятностью система переходит в следующее состояние. При этом в состоянии работы ДГ система переходит с учётом вероятности его запуска.

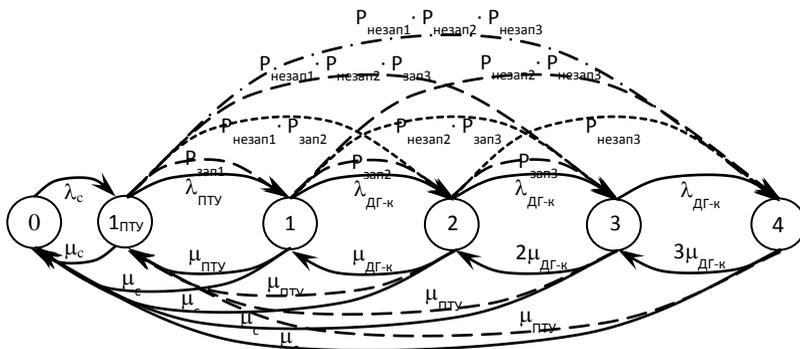


Рис. 4. Граф состояний для системы электроснабжения СН АЭС с 3 ДГ и 1 ПТУ:

0 – отсутствие нарушений связи с системой; ПТУ – потеря внешних источников электроэнергии, выполнение функций ПТУ; 1 – отказ ПТУ, выполнение функций одним из трех ДГ; 2 – отказ 1-го ДГ, выполнение функций 2-м ДГ; 3 – отказ 2-го ДГ, выполнение функций 3-м ДГ; 4 – отказ всех резервных каналов с потерей электроснабжения

Были приняты следующие данные: $\lambda_{ДГ} = 3,0 \cdot 10^{-3}$, $\mu_{ДГ} = 0,063$, $\lambda_c = 1,44 \cdot 10^{-5}$, $\mu_c = 0,064$, $\lambda_k = 5,0 \cdot 10^{-4}$, $\mu_k = 0,15$ [4] (1/час), $P_{зап} = 98$ % (паспортные данные), $\lambda_{ПТУ} = 8,0 \cdot 10^{-5}$, $\mu_{ПТУ} = 0,01$ [5] (1/час). С этими дан-

ными были подсчитаны стационарные значения вероятностей состояний для системы электроснабжения СН АЭС. Результаты расчетов итоговых вероятностей и интенсивности отказов системы резервирования собственных нужд АЭС приведены в таблице 1. При этом рассмотрены традиционная базовая схема резервирования с тремя каналами аварийного электроснабжения с дизель-генераторами, и совместное использование работающей, постоянно действующей паротурбинной установки и трёх каналов аварийного электроснабжения с дизель-генераторами.

Таблица 1 - Результирующие данные по вероятности и интенсивности отказа системы резервирования СН АЭС

Система резервирования электроснабжения СН АЭС	Итоговая вероятность отказа системы электроснабжения СН АЭС	Итоговая интенсивность отказа системы электроснабжения СН АЭС, 1/реакт.·год
3 ДГ	$6,816 \cdot 10^{-9}$	$1,601 \cdot 10^{-5}$
3 ДГ + 1 ПТУ	$7,347 \cdot 10^{-12}$	$1,789 \cdot 10^{-8}$

Как видим из таблицы 1, совместное использование постоянно действующих ПТУ и трёхканальной системы аварийного электроснабжения с дизель-генераторами позволяет повысить надёжность электроснабжения собственных нужд АЭС на 3-9 порядков по сравнению с традиционным резервированием с трёхканальной системой аварийного электроснабжения.

Предложенный вариант установки на АЭС постоянно действующей дополнительной паровой турбины небольшой мощности, в сочетании с водородным комплексом позволяет повысить надёжность электроснабжения собственных нужд АЭС в аварийных ситуациях с обесточиванием, и увеличить маневренность энергоблоков атомной станции, получая при этом дополнительную пиковую или полупиковую мощность в энергосистеме от АЭС, а также обеспечивая возможность работы АЭС, без снижения нагрузки в ночные часы. Кроме того снижаются экономические затраты на восстановление работоспособности энергоблока в связи с тем, что расхолаживание водо-охлаждаемого реактора происходит в штатном режиме без использования аварийных систем, существенно повышается надёжность электроснабжения собственных нужд АЭС и на порядки снижается вероятность аварий с повреждением активной зоны при нарушении связей с энергосистемой.

Библиографический список

1. Кейв Л. Аварии на АЭС, связанные с прекращением подачи электроэнергии на собственные нужды. – Атомная техника за рубежом, 1991, №2, с.31–32.

2. **Аминов Р.З.**, Байрамов А.Н., Егоров А.Н. Турбинная установка атомной электростанции. Патент РФ №2459293, опублик. 20.08.2012. Бюл.№23.
3. **Владимиров В. И.** Практические задачи по эксплуатации ядерных реакторов. 4 изд., перераб. и доп.– М.: Энергоатомиздат, 1986, с.190–194.
4. **Аминов Р.З.**, Игнатов В.И. Методические вопросы оценки безопасности АЭС при обесточивании и нарушении связей с системой // Атомная энергия. 2002. т. 92. вып.1. С.82–84.
5. **Аминов Р.З.** Векторная оптимизация режимов работы электростанций. М.: Энергоатомиздат, 1994.

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

АНАЛИЗ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕРИЙНЫХ РЕАКТОРОВ ВВЭР-1000 В РЕЖИМЕ РАБОТЫ НА МОЩНОСТИ, СОСТАВЛЯЮЩЕЙ 110% ОТ НОМИНАЛЬНОЙ

Наряду со строительством новых блоков АЭС, значительный интерес вызывает возможность увеличения эксплуатационной мощности действующих энергоблоков.

В данной работе приведены результаты расчетного обоснования возможности повышения эксплуатационной мощности реактора ВВЭР-1000 до 110 % от номинальной применительно к 3-му энергоблоку Калининской АЭС. С этой целью были проведены расчеты теплогидравлических характеристик активной зоны для 9-й топливной загрузки.

Расчеты проводились с использованием программы БИПР-7А и программного комплекса «КАСКАД».

В активной зоне 3 блока (9-я загрузка) содержится 67 свежих ТВСА-PLUS, содержащих бланкетные зоны из природного урана.

Размещение свежего топлива следующее: 12 ТВСА-PLUS на периферии активной зоны, 24 ТВСА-PLUS во втором ряду от периферии, остальные – в центральной части активной зоны.

При обосновании повышения мощности блока прежде всего необходимо проанализировать и доказать принципиальную возможность форсирования мощности. Здесь имеется ряд ограничений, прежде всего по теплотехнической надежности активной зоны:

- по кризису теплообмена (коэффициент запаса до кризиса по тепловому потоку должен быть не менее $1.2 \div 1.3$);

- по максимальной температуре оболочки твэла (для сплавов на основе циркония допустимая температура оболочки на должна превышать 350 °С по условиям коррозионной стойкости);

- по максимальной температуре топлива (температура плавления двуокиси урана 2800 °С, но с учетом ее снижения в течение кампании предельная температура в центре топливного сердечника 2200 °С).

Необходимо также учитывать ограничения по коэффициентам неравномерности энерговыделения по радиусу активной зоны для ТВС и ТВЭЛ ($k_q=1,35$; $k_r=1,5$).

Проектные пределы по теплогидравлическим характеристикам для нормальной эксплуатации играют немаловажную роль при введении нового режима. К ним относятся:

- максимальная мощность ТВС – 27 МВт;
- максимальная температура топлива в ТВЭЛе – 1690 °С;
- максимальная температура поверхности оболочки ТВЭЛа – 350 °С.

Также имеются и другие ограничения. Основная цель расчетов - найти максимальную температуру топлива для подтверждения невозможности его расплавления в тепловыделяющих элементах с большой тепловой нагрузкой, определить запас до кризиса теплообмена.

Проведенные расчеты дали следующие результаты:

- коэффициент запаса до кризиса $K_{зап}=3,7$;
- максимальная температура оболочки ТВЭЛа – 345,4 °С;
- максимальная температура топлива – 1098 °С;
- $k_q=1,34$ – в максимально нагруженной ТВС (№44 на 320 эф. сут-ки);
- максимальное значение $k_r=1,47$;
- максимальная температура поверхности оболочки ТВЭЛа – 345 °С.

Таким образом, несмотря на жесткие ограничения по коэффициенту запаса до кризиса теплообмена, по температуре в центре топливного сердечника, по температуре оболочки ТВЭЛ и других проектных ограничениях, имеется возможность увеличения мощности реактора ВВЭР-1000 с сохранением главного ограничивающего фактора – коэффициента запаса до кризиса – в форсированных режимах равным или близким к номинальному.

Таким образом, несмотря на жесткие ограничения по коэффициенту запаса до кризиса теплообмена, по температуре в центре топливного сердечника, по температуре оболочки ТВЭЛ и других проектных ограничениях, имеется возможность увеличения мощности реактора ВВЭР-1000 с сохранением главного

ограничивающего фактора – коэффициента запаса до кризиса – в форсированных режимах равным или близким к номинальному.

При этом условия работы активной зоны в форсированном режиме ненамного отличаются от условий работы активной зоны в номинальном режиме мощности в 3000 МВт.

Входная температура теплоносителя увеличивается с 287 до 287,7 °С. Форма поля энерговыделения на мощности 110 % несколько отличается по сравнению с режимом номинальной мощности. При этом максимум высотного распределения энерговыделения смещен несколько ближе к низу активной зоны, чем на 100 % мощности.

Поля энерговыделения в ТВС практически идентичны, выгорание происходит так же как и при номинальной мощности.

Таким образом, полученные результаты подтверждают принципиальную возможность реализации режима с повышенной до 110 % от номинальной мощностью реакторной установки. Однако требуется дополнительные обосновывающие расчеты применительно к условиям переходных процессов (обесточивание или заклинивание ГЦН, срабатывание АЗ-1, закрытие стопорных клапанов турбины и др.). Необходимо также тщательно проанализировать возможность работы турбоустановки и вспомогательного оборудования в новом режиме.

***В.Ю. Осипов, Е.Е. Дьячковский, аспиранты;
рук. В.Е. Степанов д.ф.-м.н, проф.
(СВФУ, г. Якутск)***

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УРАНА В ЯКУТИИ

Актуальность проблемы энергетического урана в России существует в связи с тем, что имеющиеся в России возможности по добыче и производству природного урана не покрывают совокупных потребностей в нем со стороны предприятий атомной энергетики.

Основная часть (95 процентов) балансовых запасов урана России (по состоянию на 1 января 2008 г. составляют 547,8 тыс. тонн) сконцентрирована в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах.

Основными направлениями увеличения производства природного урана на период до 2030 года являются:

- развитие действующих и строящихся предприятий — "Приаргунское производственное горно-химическое объединение" (Забай-

кальский край), "Далур" (Курганская область), "Хиагда" (Республика Бурятия);

- строительство новых уранодобывающих предприятий — Эльконского горно-металлургического комбината (Республика Саха (Якутия)), уранодобывающей компании "Горное" и Оловского горно-химического комбината (Забайкальский край);

- проведение значительного объема геолого-разведочных работ, оценка резервных и вновь выявляемых урановых месторождений.

В связи с планами строительства Эльконского горно-металлургического комбината данной статье приведены итоги предварительных тестовых испытаний руд Эльконского месторождения на примере отвалов горных выработок.

Главной задачей тестовых испытаний являлась оценка возможности разделения отвалов горных выработок Эльконского урановорудного месторождения, расположенного на территории Алданского района Республики Саха (Якутия) методом рентгенорадиометрической сортировки руд по контрастности вторичных рентгеновских линий различных химических элементов.

Разведанные ресурсы Эльконского урановорудного района составляют 367 тыс. тонн урана и 140 тонн золота [2]. Здесь в результате геологоразведочных работ в 1960-1980 гг. складированы отвалы горных выработок с объемом примерно 1 млн.кубических метров.

При переработке данных отвалов методом рентгенорадиометрической сортировки можно отделить «богатые» руды от вмещающих пород, содержащих гранитогнейсы, кристаллические сланцы, метадiorиты и др.

Полученная в результате сортировки «пустая порода» с удельной эффективной активностью естественных радионуклидов менее 370 Бк/кг может использоваться при строительстве внутрикарьерных дорог и т.д.

Эффективность рентгенорадиометрической сортировки зависит от контрастности добываемых руд, то есть от неравномерности распределения урана между отдельными кусками руды. Полученные в результате испытаний данные могут быть использованы также для проектирования циклов предварительной сортировки руды в транспортных емкостях (вагонетках, самосвалах) и потоках (лента конвейера). Такая технология рентгенорадиометрической сортировки (РПС) успешно реализована в ОАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» для предварительного обогащения бедных урановых руд [1].

Испытания производили с помощью переносного рентгенофлуоресцентного анализатора металлов и сплавов Niton XL3t, который представляет собой портативный экспресс-анализатор, способный оперативно сортировать испытываемую руду без специальной пробоподготовки. Данное оборудование разработано и выпускается предприятием Thermo Scientific .

Исходная для испытаний руда была отобрана с поверхности отвалов по разведочным линиям, расходящимися в виде лучей от вершины конуса отвалов геологоразведочных шахт №2 и №3 Эльконского месторождения в соответствии со стандартными методиками опробований. Пробы прошли предварительное дробление до класса – 40 мм и просеяны через сито + 5 мм, для испытаний в лабораторных условиях выбран класс исходной руды -40 + 5 мм. Было произведено сортировка более 7300 кусков руды данного класса массой более 62 кг.

Для испытываемых кусков руды были определены алгоритм разделения и порог рентгенорадиометрической сортировки для каждого определяемого компонента.

Выбору порогов рентгенорадиометрической сортировки предшествовали предварительные исследования на кусковом материале (более 100 кусков), в задачу которых входило определение того минимального порога P , который позволил бы выделить из руды максимальное количество обогащенного продукта с содержанием урана более 0,05 %. Для испытываемых кусков такими параметрами являются интенсивности в каналах урана и мышьяка (как правило, золотосодержащие минералы распознаются через этот элемент). Дополнительным параметром является интенсивность рассеянного излучения N_s .

В качестве аналитического параметра для урана и золота были выбраны следующие отношения:

$$P_u = \frac{N_u}{N_s},$$

где N_u - регистрируемое от куска характеристическое рентгеновское излучение урана $U(K_{\alpha}) = 97.131$ кэВ, N_s – регистрируемое от куска рассеянное (вторичное) излучение первичного спектра источника рентгеновского излучения.

$$P_{As} = \frac{N_{As}}{N_s},$$

где N_{As} - регистрируемое от куска характеристическое рентгеновское излучение мышьяка, N_s – регистрируемое от куска рассеянное (вторичное) излучение первичного спектра источника рентгеновского излучения.

Для данного класса крупности был установлен порог сортировки урана равный:

$$P_U = 0,035 \text{ ед.}$$

Как следует из результатов испытаний при выбранном пороге происходит достаточно четкое разделение кусков руды по содержанию урана. Как правило, это куски с повышенным содержанием золота, а также характеризуются содержанием ниобия. С повышением порога разделения повышается качество выделяемого «богатого» продукта.

Результаты разделения руды рентгенорадиометрической сортировкой представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Баланс продуктов обогащения на РРС

Продукты разделения	Граница разделения (по аналитическому параметру сепаратора Р)	Выход		Уран, %	
		кг	%	содержание	извлечение
«богатая» руда	$P_U > 0.035$	14,14	22,6	0,0465	33,35
«бедная» руда	$P_U < 0.035$	48,42	77,4	0,0272	66,65
Исходная руда		62,56	100,0	0,0315	100,0

На основании выше приведенных результатов можно говорить о реальной возможности сортировки отвалов горных выработок Эльконского урановорудного месторождения методом рентгенорадиометрической сепарации с выделением обогащенного по урану продукта с содержанием 465 г/т. Извлечение в обогащенный продукт составило: U- 33,35 %. Хвосты рентгенорадиометрической сортировки в могут быть отнесены к отвальным, так как содержание урана в них не превышает 2- 4 г/т.

Таким образом технология рентгенорадиометрической сепарации (РРС) позволяет создать на борту отвалов горных выработок мобильного рудосортировочного комплекса (РСК), состоящего из дробильно-сортировочного оборудования и серийных рентгенорадиометрических сепараторов СРФ (СРФ2-300, СРФ3-300, СРФ4-150, СРФ4-50) производства российской фирмы «Радос».

Библиографический список

1. Литвиненко В.Г., Суханов Р.А., Тирский А.В., Тупиков Д.Г. Опыт применения РРС для предварительного обогащения урановых руд // Рентгенометрическая сепарация минерального сырья и техногенных отходов. Материалы 111 Международной научно-технической конференции. г. Екатеринбург, 2007. С.96-100.

2. **Артамонова С.Ю.**, Мельгунов М.С., Дементьев В.Н. Основные результаты радиоэкологического обследования отвалов горных выработок Эльконского горста в 2005 г. // Радиационная безопасность Республики Саха (Якутия). Материалы 111 Республиканской научно-практической конференции. г. Якутск, 2011. С.408-428.

*А.Р. Крылов, студ., М.С. Бугров, асп.;
рук. С.Г. Андрианов, к.т.н., проф.; А.Г. Ильченко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПИКОВОЙ МОЩНОСТИ НА АЭС

Тенденция к повышению удельного веса ядерного горючего в топливном балансе России потребует увеличения доли маневренных энергоустановок в общей структуре генерирующих мощностей. Это может привести к необходимости эксплуатации атомных электростанций в переменном режиме, что недопустимо. Известно, что АЭС экономически наиболее целесообразно использовать в базовой части графика нагрузки. Кроме того, в техническом отношении они менее приспособлены к работе в переменном режиме. Создание специализированных АЭС потребует разработки маневренного оборудования первого контура, эффективной и надёжной системы регулирования, специальных топливных композиций и др.

Одним из перспективных направлений в решении проблемы повышения маневренности АЭС является комбинирование газотурбинной установки (ГТУ) с энергоблоками АЭС. ГТУ обладают высокой маневренностью, поэтому их выгодно использовать для пиковых потребителей энергии.

Имеющийся положительный опыт совмещения газового и парового цикла на ТЭС с утилизацией теплоты уходящих газов ГТУ в тепловой схеме паровой турбины показывает обоснованность таких разработок. Включение в работу газовой турбины параллельно с паровой будет способствовать не только получению дополнительной мощности на АЭС, но и увеличению тепловой экономичности всего энергоблока.

Преимущества комбинированной установки:

- возможность участия в маневренных режимах за счёт ГТУ (РУ в это время работает в базовом режиме);
- увеличение отпуска электроэнергии в период осенне-зимнего пика потребления за счёт увеличения мощности ГТУ при понижении температуры окружающего воздуха, а также дополнительно вырабатыва-

емой мощности влажнопаровой турбины при вытеснении греющего пара отборов;

- повышение надёжности электроснабжения собственных нужд АЭС, так как при такой схеме работы может быть предусмотрено дополнительное аварийное электроснабжение ответственных потребителей от ГТУ.

В настоящее время известны различные установки с комбинированием, основанные на вытеснении теплотой отработавшего рабочего тела ГТУ различных потоков теплоносителя в схеме турбоустановки АЭС. Так в работе [1] описаны установки с подключением двух ГТУ типа ГТЭ-130-850 к АЭС с реакторной установкой ВВЭР-1000 и турбиной К-1000-60/1500 или К-1000-60/3000. Известны и другие схемы парогазовых установок с комбинированием АЭС и ГТУ, например предложенные в Саратовском государственном техническом университете им. Гагарина Ю.А. и в Московском энергетическом институте[2,3,4,5,6].

В нашей работе произведён расчёт и анализ комбинированных схем для основных серийных турбин АЭС – К-1000-60/3000, К-500-65/3000 и К-220-44/3000. Рассмотрены следующие способы утилизации тепла выхлопных газов (рис. 1):

- схема с промежуточным газовым перегревом пара. При этом может осуществляться как нагрев пара при закрытом отборе на СПП (схема с ГПП), так и дополнительный перегрев при открытом отборе до температуры перед ЦНД выше номинальной (схема ПП+ГПП).

- схема с подогревом питательной воды (или её части) в газовой теплообменнике (ГВП).

- схема с котлом-утилизатором (КУ). Такая компоновка позволяет вытеснить пар отбора на СПП паром, генерируемом в КУ.

Схема с газопаровым перегревом позволяет увеличить температуру пара перед ЦНД до 350°C и выше. При этом тепловой перепад в ЦНД турбины возрастает и её мощность увеличивается. Влажность пара на выходе из цилиндра уменьшается, что продлевает ресурс работы лопаточного аппарата. Такая компоновка позволяет получить наибольший прирост мощности ПТУ (1133 МВт для турбоустановки К-1000-60/3000) Недостаток этой схемы – высокая температура газа за ГПП, который не позволяет полностью использовать энергию уходящего газа. Устранить его может установка газовой теплообменника за ГПП по ходу газа. В ГВП температура газа будет снижаться до приемлемого уровня (тух.г.≈190°C). Так как тепловая мощность, утилизируемая в ГВП, небольшая, то передача тепла осуществляется части питательной воды, расход которой регулируется установкой дроссельной

шайбы перед ГВП. Для организации парогазового цикла на базе турбоустановки К-1000-60/3000 может быть рекомендована отечественная газовая турбина ГТЭ-45-3М. Мощности выхлопных газов достаточно, чтобы поднять температуру перед ЦНД до 275°C. Дальнейшее охлаждение газа осуществляется в ГВП.

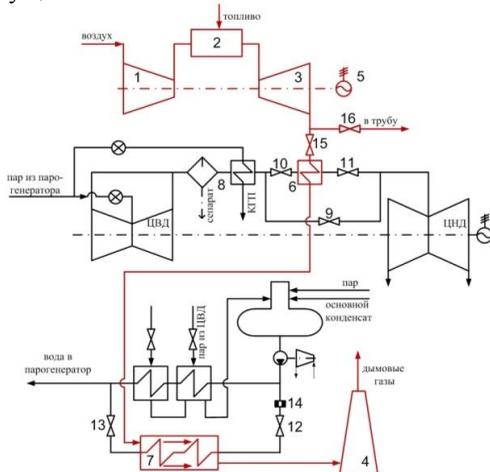


Рис.1 Схемы парогазовых установок с ГПП и ГВП

. При расходе питательной воды через подогреватель 500 т/ч, расход воды через ПВД снижается на 9,3%, что приводит к дополнительному росту мощности турбоустановки. Мощность паровой турбины в режиме совместной работы составит 1048 МВт, на 35,5 МВт больше, чем в базовом режиме. Мощность газовой турбины в зимнем режиме работы ($t_{н.в.} = -10^{\circ}\text{C}$) за счёт увеличения массового расхода более холодного воздуха увеличивается с 56,9 до 70 МВт. Тогда суммарная мощность ядерной ПГУ:

$$N_{\Sigma} = N_{\text{ПТ}} + N_{\text{ГТ}} = 1048 + 70 = 1118 \text{ МВт (зима);}$$

$$N_{\Sigma} = N_{\text{ПТ}} + N_{\text{ГТ}} = 1048 + 56,9 = 1104,9 \text{ МВт (лето).}$$

КПД ПГУ:

$$\eta_{\Sigma} = \frac{N_{\Sigma}}{Q_{\Sigma}} = \frac{N_{\text{ПТ}} + N_{\text{ГТ}}}{Q_{\text{ПТ}} + Q_{\text{ГТ}}} = \frac{1118}{3000 + 227,3} = 0,3464 \text{ (зима);}$$

$$\eta_{\Sigma} = \frac{N_{\Sigma}}{Q_{\Sigma}} = \frac{1104,9}{3000 + 199,0} = 0,3454 \text{ (лето).}$$

В конденсационном режиме электрическая мощность энергоблока АЭС с турбиной К-1000-60/3000 составляет 1012,5 МВт, что соответствует значению КПД турбоустановки по выработке электроэнергии 33,75 % (табл. 1).

Применение парогазовых технологий на АЭС позволит добиться не только увеличения мощности и манёвренности станции, но и повышения её экономичности. Значительный эксплуатационный ресурс современных газовых турбин (более 100 тыс. часов) позволит отработать им полный нормативный срок эксплуатации без замены. Учитывая компактность и малую металлоёмкость ГТУ, их применение совместно с ядерным энергоблоком выглядит весьма привлекательным.

Ниже представлены результаты расчётов основных показателей работы ПГУ. Параметры работы газотурбинного оборудования соответствуют температуре наружного воздуха 15°C (стандартные условия ISO). Температура пара перед ЦНД в схемах ПП+ГПП равна 350°C. Показатели мощности и экономичности турбоустановки К-220-44/3000 для схемы с ГПП приведены для температур 240 и 350°C.

Таблица 1 - Основные параметры работы ПГУ

Схема ПГУ	Тип и мощность применяемой ГТУ, МВт			Суммарная мощность ПГУ, МВт			КПД ПГУ, %		
	К-1000	К-500	К-220	К-1000	К-500	К-220	К-1000	К-500	К-220
ГПП	Ansado V94.2K - 186,1	ГТЭ-110-110	ГТЭ-45-3М-569 / ГТЭ-110	1275,1	6654,5	2297,3/ 377,4	336,33	337,52	333,86/ 38,20
П + ГПП	A Alstom GT26--271,6	ГТЭ-110-110	ГТЭ-45-3М-56,9	1404,6	6658,5	3304,2	337,81	337,75	334,77
ГВП	MMitsubishi M701F4-- 312,1	----	ГТЭ-110-110	1411,1	----	3358,7	337,23	----	336,53
КУ	GE MS9001 FA --255,6	ГТЭ-160-157	ГТЭ-45-3М-56,9	1354,6	708,5	300,7	36,68	37,80	34,50

Библиографический список

1. **Нуждин В.Н.** Союз атома и газа/ В.Н. Нуждин, А.А. Просвирнов//Материалы инновационного форума Росатома, 2007 г. Центр «Атом-инновация» – М.: 2007г., с.28-33.
2. **А.с.** 941641 (СССР) Парогазовая установка/ В.Я. Рьжкин, С.В. Цанев, И.М. Чухин. Опубл. 1982 г. Бюл. №25.
3. **А.с.** 1060798 (СССР) Парогазовая установка/ В.А. Хрусталев, О.И.Демидов, М.С. Доронин и др.- Опубл. 1983. Бюл. №46.
4. **Сурков В.В.** Комбинированная установка АЭС-ГТУ//Теплоэнергетика, 1981. №10. с.57-58.
5. **Хрусталёв В.А.** Об одном способе форсировки паротурбинных блоков АЭС/ В.А. Хрусталёв, С.М. Петин//Известия вузов. Энергетика.1981.№7. с.106-108.

6. Наумов А.С., Хрусталёв В.А. Комбинирование АЭС и ГТУ – один из способов повышения эффективности АЭС в энергосистемах/ Наумов А.С., Хрусталёв В.А.//Проблемы энергетики, 2012, №5-6.,с. 86-94.

*Д.О. Башлыков, асп.; рук. В.А. Хрусталева д.т.н., проф.
(СГТУ им. Гагарина Ю.А., г. Саратов)*

СОПОСТАВЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ ДЛЯ АЭС С РЕАКТОРОМ ТИПА СКДИ

В настоящее время в России и ряде зарубежных стран начата разработка реакторов, охлаждаемых сверхкритической водой, с интегральной компоновкой первого контура. Создание подобных водяных энергетических реакторов со сверхкритическими параметрами пара и регулируемым спектром нейтронов предусмотрено в Энергетической стратегии России, которая была утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 г. В июле 2011 г. Россия подписала системное соглашение Международного форума «Поколение-4» (GIF) по направлению реакторов с водой сверхкритического давления SCWR. Заявлено, что реакторы ВВЭР-СКДИ позволяют выдавать пар в голову турбины с давлением 120-160 бар и температурой 380 °С.[1]

Парогенератор имеет прямоточную прямотрубную конструктивную схему и состоит из 15 модулей, расположенных в кольцевом пространстве между внутренней поверхностью корпуса реактора и наружной поверхностью обечайки тягового участка, устанавливаемой над активной зоной (рис.1).

Для сокращения числа вводов питательной воды и выводов пара через корпус реактора каждые три парогенераторных модуля объединены в секции (рис.2).

В связи с трудностью регулирования парогенератора, расход и начальные параметры пара, а так же параметры питательной воды при сравнительном анализе на этой стадии исследования оставлены постоянными, принята неизменная тепловая мощность реактора в данном расчете.

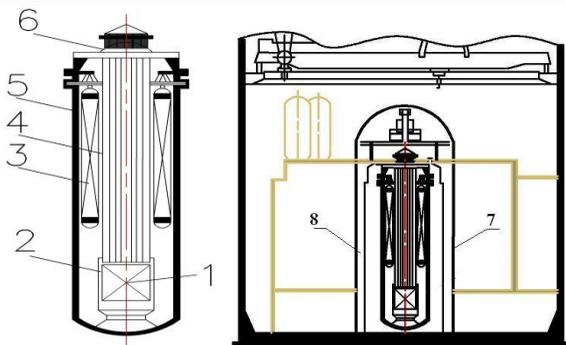


Рис.1. Схема реакторной установки и ее размещения в защитной оболочке: 1-активная зона; 2-цилиндр активной зоны; 3-парогенераторные модули (5х3=15шт); 4-кожух трубчатого предохранительного блока (обечайка тягового участка); 5- корпус реактора; 6-крышка корпуса реактора; 7-страховочный корпус; 8-кольцевой зазор с водой

Высокие начальные параметры пара позволяют поставить вопрос об эффективности тепловой схемы, используемой на современных АЭС с ВВЭР. Так как СПП – громоздкий и дорогостоящий аппарат, весьма неудобный при эксплуатации, то важным направлением совершенствования является создание новых эффективных систем влагоудаления. Об этом указывалось в разработках МЭИ по выбору тепловых схем АЭС с ВВЭР- на типовые параметры начального пара 60 бар, 275 °С.

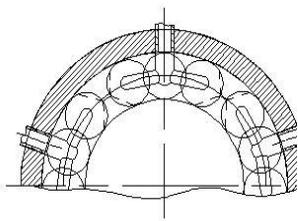


Рис.2. Расположение парогенераторных модулей в кольцевом зазоре

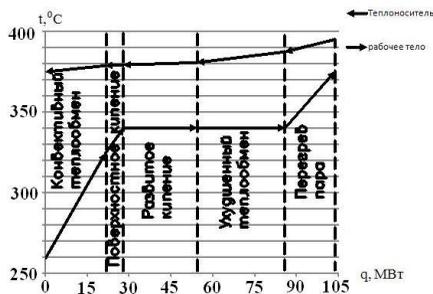


Рис.3. t-q диаграмма теплообмена в парогенераторном модуле

В данной статье проводится сравнение трех вариантов тепловой схемы турбоустановки К-600-14,0/3000, которая отличается повышен-

ным давлением и перегревом свежего пара: традиционная схема с использованием сепаратора-пароперегревателя (СПП)(рис.4а;

2) схема с двойной сепарацией (С+С)(рис.4б);

3) схема, в которой на первом разделительном давлении ставится сепаратор с одной ступенью перегрева пара, а на второй- сепаратор (СП+С)(рис. 4в).

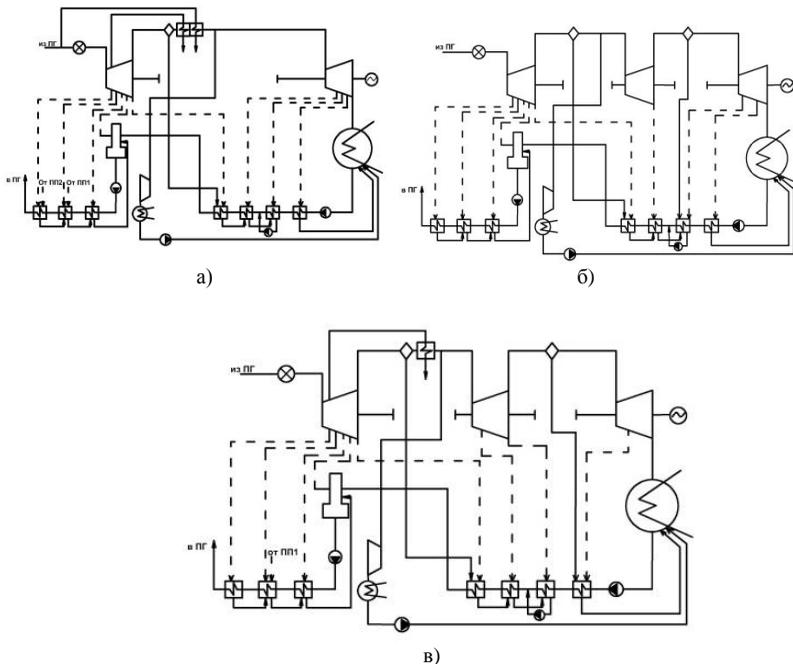


Рис.4. Рассматриваемые ПТС второго контура АЭС ВВЭР-СКДИ

Таблица 1 - Исходные данные для расчета тепловых схем ПТУ реактора ВВЭР-СКДИ

Параметр	Значение
Начальное давление, МПа	14
Начальная температура, °С	380
Расход пара в голову турбины, кг/с	854,8
Температура питательной воды, °С	253
Давление в конденсаторе, МПа	0,004

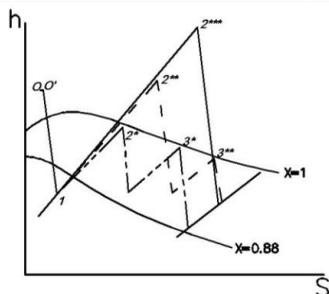


Рис. 5. Процесс расширения пара для трех вариаций тепловой схемы турбоустановки К-600-14,0/3000 в h-s координатах: 0, 0' – точки начала процесса расширения до стопорного клапана и после, соответственно; 1- окончание расширения в ЦВД; 2*, 2***-точки входа пара в ЦСД; 3*, 3**, 3***- вход пара в ЦНД; *-вариант С+С; **-СП+С; ***- СПП

Расчет внутреннего относительного КПД (η_{oi}) цилиндров турбоустановки проводился по формулам [2], рекомендованным МЭИ:

Для ЦВД и ЦСД

$$\eta_{oi} = \left(0,92 - \frac{0,2}{D_{cp} \cdot v_{cp}} \right) \cdot \left(1 + \frac{\Delta h_0 - 700}{2 \cdot 10^4} \right)$$

где D_{cp} - средний расход пара через группу ступеней, кг/с; v_{cp} - средний удельный объем пара, m^3/kg ; Δh_0 - располагаемый теплотерепад цилиндра, кДж/кг; $k_{вл}$ – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние влажности. Для ЦНД

$$\eta_{oi} = 0,87 \cdot \left(1 + \frac{\Delta h_0 - 400}{10^4} \right) \cdot k_{вл} - \frac{\Delta h_{вс} \cdot D_k}{\Delta h_0 \cdot D_0}$$

где Δh_0 - располагаемый тепловой перепад цилиндра, кДж/кг; $k_{вл}$ – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние влажности; $\Delta h_{вс}$ - потери с выходной скоростью из последней ступени, кДж/кг; D_0 - расход пара поступающего в цилиндр, кг/с; D_k - расход (в расчете на один выхлоп) пара за последней ступенью, кг/с.

Таблица 2 - Основные результаты расчета вариантов тепловой схемы турбоустановки К-600-14,0/3000

Параметр	обозначение	СПП	С+С	СП+С
Электрическая мощность, МВт	Нэ	602,3	606,5	616,7
Электрический КПД нетто, %	$\eta_{\text{нетто}}$	38,76	39,03	39,68
Работа цикла, кДж/кг	Лц	711,76	716,7	728,7
Расход пара перед ЦСД, кг/с	$D_{\text{ЦСД}}$	432,75	496,08	458,48
Расход пара перед ЦНД, кг/с	$D_{\text{ЦНД}}$		404,34	396,89
Расход пара в конденсатор, кг/с	D_k	368,8	367,29	375,69

Как видно из табл. 2, вариант СП+С является наиболее эффективным с точки зрения КПД и влагоудаления.

В целом результаты показывают, что следует рекомендовать проектные проработки турбоустановки К-600-14,0/3000 и другого оборудования с дальнейшим уточнением технического профиля и эффективности ПТУ нового энергоблока.

Библиографический список

1. **О тепловой** схеме энергоблока АЭС с реактором, охлаждаемым водой сверхкритического давления/ В.А. Силин, В.М. Зорин, А.М. Тагиров, О.И. Трегубова, И.В. Белов, П.В. Поваров. // Теплоэнергетика. 2010. №12. С. 32-37.

2. **Зорин В.М.** Атомные электростанции: учеб. пособие для вузов”-М.: изд-во МЭИ, 2012, с. 356-363.

*Д.Ю. Кашин, асп.; руководитель С.Т. Лескин, д.т.н., проф.
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г.Обнинск)*

ПРИМЕНЕНИЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ НАСОСОВ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ

Система аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ) реакторов ВВЭР имеет в своем составе активные элементы – насосы. Периодически проводится их проверка путем включения на линию рециркуляции, а после расхолаживания – на I контур. В настоящее время состояние насосов оценивается только по значениям контролируемых в испытании параметров (расходы, температуры, давления, параметры вибродиагностики). Практически не учитываются тенденции изменения состояния насосов от испытания к испытанию, а также изменение параметров в каждом отдельно взятом испытании. Для обработки результатов испытаний САОЗ целесообразно использовать методику [1], позволяющую получить неявную информацию, скрытую во взаимном поведении параметров. Сначала из последовательностей всех измерений в каждом испытании отбираются по несколько значений из **информативных временных сечений**, своих для каждого параметра. Это дает примерно 1000-кратное уменьшение объема исходных данных. В качестве критерия информативности временного сечения j выбрана энтропия Шеннона:

$$H(x_j) = -\sum_{i=1}^N p_{i,j} \log p_{i,j}$$

В данной работе для оценки вероятностей $p_{i,j}$ нахождения значения параметра x_j в интервале i использовался метод k ближайших соседей [2] при $k = 2$. Чем больше энтропия в данном временном сечении, тем больший разброс измерений рассматриваемого параметра от испытания к испытанию в нем наблюдается и тем выше вероятность обнаружить аномальное состояние. Далее формируется **матрица информативных признаков**, содержащая информацию по каждому испытанию из выбранных временных сечений. Информативные признаки являются, в отличие от измеряемых параметров, самостоятельными диагностическими признаками и определяются, как некоторые их функции (в простейшем случае они совпадают). Матрица информативных признаков содержит исходные данные для проведения **кластерного анализа**. Строки матрицы отражают испытания насосов и, будучи представленными точками в признаковом пространстве, образуют группы (кластеры), объединенные некоторыми факторами общности. Это позволяет делать выводы о состоянии насосов, динамике его развития и причинах изменений. Для снижения размерности признакового пространства используется **разложение Карунена-Лоэва** [2], позволяющее представить многомерную информацию в пространстве заданной размерности с минимальной ошибкой. Это преобразование линейно и заключается в переходе от исходного базиса информативных признаков к базису из собственных векторов их корреляционной матрицы. Чем больше собственное значение, соответствующее выбранному собственному вектору, тем большую дисперсию данных передает измерение, определяемое этим вектором. Выбрав два собственных вектора с наибольшими собственными значениями (1-я и 2-я главные компоненты), получим плоскость, передающую в большинстве случаев не менее 80% информации о взаимном расположении точек, отражающих результаты испытаний. Сравнивая координаты этих точек на плоскости главных компонент с координатами главных компонент в базисе информативных признаков, можно выявить параметры, отвечающие за образование разных кластеров.

Также были выявлены некоторые факторы, оказывающие существенное влияние на результаты. Во-первых, наличие импульсных искажений исходных данных приводит к нарушению нормировки при расчетах энтропии. Таким образом, необходимо применение фильтров, удаляющих импульсные искажения. Вторым важным фактором является несовпадение времени начала фиксации измерений со временем включения насосов, которое можно определить по началу роста подогрева охлаждающего воздуха двигателей. Поэтому начало отсчета для всех испытаний необходимо привести ко времени включения насосов.

Также оказалась важна коррекция апертурной фильтрации измерений. Большое значение апертуры, обусловленное или свойствами приборов, или заданное персоналом, приводит к заметной ступенчатости измерений и сильно изменяет распределения энтропии, то есть, приводит к ошибкам выбора информативных временных сечений. Все эти факторы были учтены при обработке данных.

Проведенный анализ имеющихся результатов испытаний насосов САОЗ Калининской и Балаковской АЭС позволяет, в целом, говорить о стабильном состоянии оборудования, на что указывает отсутствие резко выпадающих из кластеров точек. Образовавшиеся кластеры объясняются, в основном, различиями в режимах работы насосов. Пример результатов итоговой обработки данных показан на рис.1. Из рисунка видно, что испытания насосов ТЈ11D01 и ТЈ13D01 расположены вместе, в то время, как испытания насоса ТЈ12D01 образовали отдельный кластер.

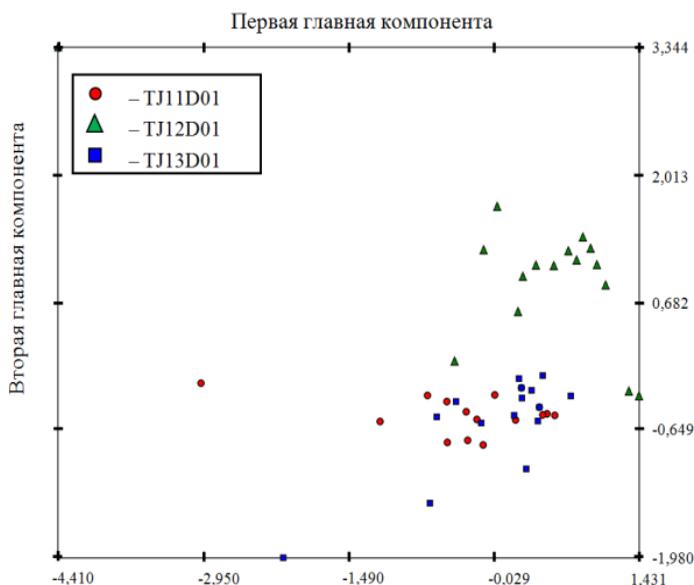


Рис. 1. Расположение испытаний на плоскости главных компонент

Это объясняется различными режимами работы (насос ТЈ12D01 испытывался с большим расходом рециркуляции). Внедрение описанной методики обработки данных значительно увеличивает вероятность

распознавания аномального состояния насосов на начальной стадии развития. Таким образом, уделив «подозрительному» насосу должное внимание во время ППР, можно снизить риски останова блока, требуемого при потере работоспособности канала системы безопасности.

Библиографический список

1. **Лескин С.Т.**, Корнилова В.В. О возможности идентификации аномалии в состоянии насосов высокого и низкого давления по результатам испытаний на АЭС с ВВЭР. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2005. – №4, Обнинск: ОГТУАЭ. 2005.

2. **Фукунага К.** Введение в статистическую теорию распознавания образов. М.: Наука. 1979.

*А.В. Власова, А.Г. Крестниковский, инженеры; Д.В. Петин, студ.;
рук. А.Ю. Токов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНОГО РЕСУРСА ТРУБНОГО ПУЧКА ПАРОГЕНЕРАТОРА ПГВ-1000 МКП

Для проекта АЭС-2006 с реакторами нового поколения в ОКБ «Гидропресс» разработан парогенератор ПГВ-1000МКП повышенной мощности с проектным сроком эксплуатации 60 лет, с коридорной компоновкой трубного пучка. Парогенераторы являются наиболее повреждаемыми теплообменными аппаратами. Все случаи замены горизонтальных ПГ на действующих АЭС были связаны с коррозионными повреждениями теплообменных трубок (ТОТ), имеющими характер трещин, язв и т.п.

Обзор результатов контроля трубных пучков ПГ на действующих АЭС методом вихревых токов показал, что скорости роста ранее зафиксированных дефектов в процессе эксплуатации ПГ очень малы и практически не зависят от глубины дефектов.

Зарождение коррозионных процессов на ТОТ связано, как правило, с загрязнением их продуктами коррозии конденсатно-питательного тракта и накоплением в котловой воде коррозионно-активных примесей, что обусловлено водно-химическим режимом второго контура. Развитие коррозионных дефектов происходит по механизму анодного растворения металла при локальном концентрировании на его поверхности активаторов коррозии (в основном хлоридов) и наличии окисли-

теля. При наличии меди на поверхности ТОТ создаются условия для развития язвенной коррозии.

На стенде, разработанном в ОКБ «Гидропресс», выполнены натурные исследования коррозионных процессов на модели трубных пучков из стали 08X18H10T с различной компоновкой ТОТ (коридорной и шахматной) [1]. Проведены ускоренные ресурсные испытания с имитацией различных режимов эксплуатации ПГ (стояночный режим, гидравлические испытания на прочность и плотность, пуск, работа на мощности, останов) с наработкой в режиме генерации пара 4600 ч, при различных показателях ВХР второго контура. Зарождение дефектов начиналось примерно через 1000 ч работы в виде питтингов на отдельных участках ТОТ с отслаиванием отложений в местах их образования.

Загрязненность отложениями ТОТ в коридорном пучке оказывается на 30% ниже, чем в шахматном пучке. Таким образом, экспериментально подтверждено, что применение трубного пучка с коридорной компоновкой ТОТ приводит к увеличению скорости циркуляции воды в нем и, соответственно, к снижению скорости роста отложений на ТОТ. В ходе испытаний выявлена цикличность зарождения как питтингов, так и трещин, но ни на одном этапе не наблюдалось развитие трещин, зафиксированных ранее.

Для снижения консерватизма оценки допускаемой глубины дефектов (критерия глушения ТОТ) оценена несущая способность трубок с реальными дефектами, образовавшимися при эксплуатации трубного пучка ПГ на действующих АЭС с ВВЭР-1000. Измерения показали, что перемещения стенок ТОТ обратимы, т.е. металл работает в упругой области деформаций. При помощи вихретокового контроля установлено, что статистически значимые изменения глубины дефектов при нагружении внутренним давлением вплоть до 50 МПа отсутствуют. Несущая способность ТОТ с дефектами позволяет применять трубки диаметром 16 x 1,5 мм. При минимизации процессов, вызывающих коррозию, оказывается возможной эксплуатация ТОТ с дефектами глубиной до 85% толщины стенки.

Оценочный срок службы ТОТ τ_p до образования дефекта в процессе эксплуатации является суммой продолжительностей последовательных стадий коррозионного повреждения:

$$\Sigma\tau_p = \tau_{отл} + \tau_{зп} + \tau_{рп} + (\tau_{зт} + \tau_{рт}),$$

где $\tau_{отл}$ – продолжительность роста отложений до критической толщины и накопления в них коррозионно-активных примесей до критических концентраций, $\tau_{зп}$ – продолжительность стадии зарождения питтингов, $\tau_{рп}$ – продолжительность стадии роста питтингов до зарождения растра-

вов, $\tau_{зт}$ – продолжительность стадии зарождения трещин, $\tau_{рг}$ – продолжительность стадии роста трещин. Все слагаемые в той или иной степени зависят от показателей водно-химического режима, а также от условий консервации трубного пучка при стояночном хранении, в частности, от доступа кислорода.

Одним из основных условий предотвращения повреждения ТОТ ПГ на АЭС с ВВЭР является внедрение мероприятий по обеспечению чистоты ТОТ и снижению поступления железа в ПГ, поскольку отложения являются концентраторами коррозионно-агрессивных примесей из воды второго контура.

Показана возможность образования коррозионных дефектов в стояночных, предпусковых и пусковых режимах. Поэтому должны быть модернизированы регламенты стояночных режимов ПГ в части минимизации наличия влаги в отложениях и кислорода в воде. При проведении гидравлических испытаний и пуска ПГ необходимо обеспечить минимального количества окислителя (кислорода) в воде второго контура.

При соблюдении приведенных выше рекомендаций работоспособность ТОТ диаметром 16×1,5 мм из нержавеющей стали аустенитного класса 08X18N10T не является фактором, ограничивающим ресурс ПГ ниже 60 лет.

Библиографический список

1. **Попадчук В.С.** Экспериментально-расчетное обоснование проектного ресурса трубного пучка парогенератора ПГВ-1000МКП на основе исследований коррозионных процессов. – Автореферат дисс. работы, Подольск, 2010.
2. **Банюк Г.Ф.,** Зубченко А.С., Трунов Н.Б. Коррозионные повреждения теплообменных труб парогенераторов. В сб.: «Вопросы атомной науки и техники», 2008, вып.21.
3. **Богоявленский В.Л.** Коррозия сталей на АЭС с водным теплоносителем. М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. **Структура** и коррозия металлов и сплавов. Под ред. Е.А. Ульянина. М.: Металлургия, 1989.
5. **Погодин В.П.,** Богоявленский В.Л., Сентюров В.П. Межкристаллитная коррозия и коррозионное растрескивание нержавеющей сталей в водных средах. М: Атомиздат, 1970.
6. **Герасимов В.В.** Коррозия реакторных материалов. М.: Атомиздат, 1980.
7. **Григорьев В.А.** и др. Обоснование требований к вихретоковому контролю теплообменных труб горизонтальных парогенераторов. Материалы 7-го международного семинара по горизонтальным парогенераторам. Подольск, 2006.

*А.А. Баринов, студ., А.А Добров, асп.; рук. А.Е. Хробостов, к.т.н., доц.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЕРИФИКАЦИИ CFD-КОДОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ГИДРОДИНАМИКИ ПОТОКА В ТОПЛИВНОЙ СБОРКЕ ТВСА ДЛЯ ВВЭР

В последнее время в практику теплогидравлических расчетов активных зон водо-водяных реакторов внедряются 3-х мерные CFD-коды, позволяющие исследовать гидродинамические процессы потока теплоносителя со сложной геометрией каналов. Применение CFD-кодов связано с подготовкой расчетных областей (построением расчетных сеток), выбором моделей турбулентности и заданием специфических параметров расчета. При этом получение достоверных данных в результате расчета возможно при условии верификации как самих моделей турбулентности, так и методик их применения. Целью данной работы является разработка методики расчетного моделирования течения теплоносителя в 19-ти стержневом пучке твэл и верификации результатов расчета на основе экспериментальных данных.

Экспериментальное исследование гидродинамики потока проводилось на аэродинамическом стенде в базовой лаборатории ОАО «ОКБМ Африкантов» «Реакторной гидродинамики» в НГТУ [1], представляющем собой разомкнутый аэродинамический контур, с исследуемой масштабной копией фрагмента пучка твэл топливной сборки ТВСА (рис.1).

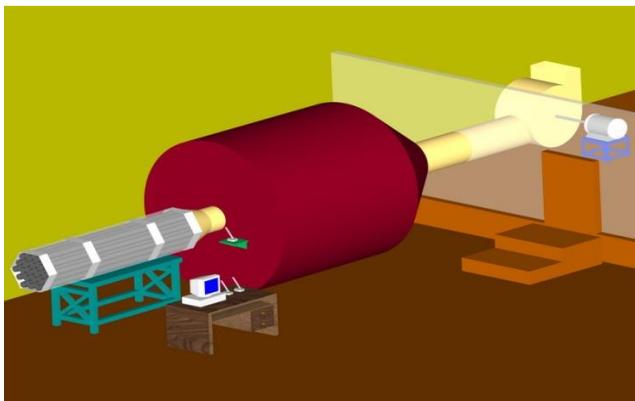


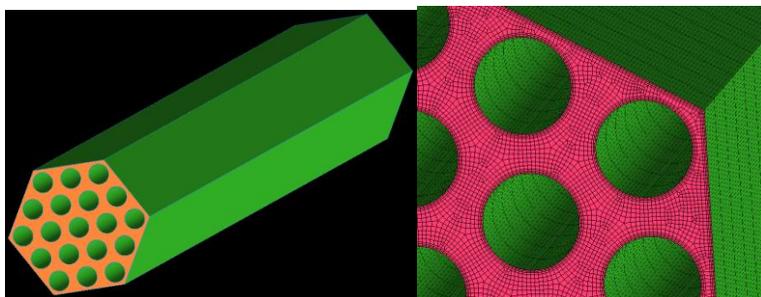
Рис.1. Экспериментальный стенд

В результате проведения экспериментальных исследований был создан банк гидродинамических характеристик потока в исследуемой модели, положенный в основу верификации расчетов, проведенных в данной работе.

Для проведения расчетного моделирования в программном комплексе ANSYS CFD была построена трехмерная геометрическая расчетная модель стержневого пучка, изображенная на рис.2.

Данная модель представляет собой объемную расчетную сетку с призматическим выделением пограничного слоя на твэлах и боковых границах модели. Параметры геометрической детализации сетки выбирались исходя из достаточности для получения требуемой точности расчета и требований модели турбулентности [2,3]. Сетка выполнялась методом поверхностного построения с последующей экструзией элементов по длине модели с параметром относительного выдавливания 15:1.

Численный расчет течения в стержневом пучке основан на решении уравнений движения вязкой несжимаемой жидкости (Навье-Стокса) для каждого элемента сетки. Для замыкания уравнений была выбрана стандартная модель турбулентности.



(a)

(б)

Рис.2. Трехмерная расчетная модель: (а) – твердотельная; (б) – с наложенной сеткой

На первом этапе работы, для подтверждения представительности результатов расчетных исследований, был проведен расчет гидравлического сопротивления трения по длине модели. При измерении сопротивления трения выбирался участок установившегося турбулентного течения. Исследования проводились для диапазон чисел Re от 20 000 до 100 000, соответствующих экспериментальным значениям.

Сводный график результатов расчета и эксперимента приведен на рис. 3.

Точка излома графика соответствует нижней границе зоны автомодельности течения, и характеризуется значением числа $Re \approx 60\ 000$. Из графика видно, что в зоне автомодельности наблюдается приемлемое согласие результатов расчета и эксперимента.

Следующим этапом работы стало проведение расчетного исследования массообменных характеристик течения и последующего сравнения результатов с экспериментальными данными. При постановке эксперимента межъячеечный массообмен исследовался на основе трассерной методики. Газ-трассер (пропан) с определенным расходом равномерно подавался в стандартную ячейку модели через впускной насадок (рис.4) и, пройдя модель, выбрасывался в окружающую среду.

Затем, измерялось распределение концентрации пропана в характерных сечениях модели. Массообменные характеристики потока определялись на основе полученных распределений концентрации трассера.

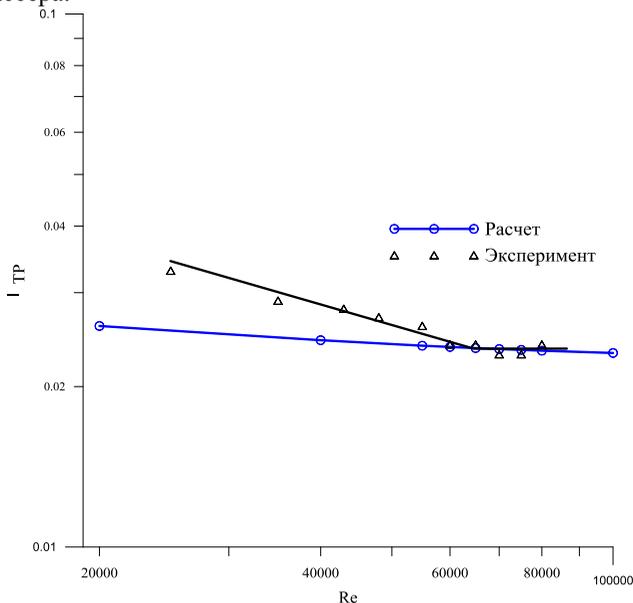


Рис.3. Зависимости коэффициента трения по длине $\lambda_{тр}$ от числа Re



Рис.4. Экспериментальный впускной насадок

Расчетное исследование межъячеечного массообмена основывалось на аналогии явлений турбулентного переноса массы и температуры. Обобщенное уравнение турбулентного переноса скаляра φ в турбулентном потоке имеет вид:

$$\frac{\partial \rho \bar{\varphi}}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j \bar{\varphi}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\rho (D + D_t) \frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial x_j} \right) \quad (1)$$

Коэффициент турбулентной диффузии D_t может быть записан в виде:

$$D_t = \frac{\mu_t}{\rho} \frac{1}{\sigma_t} \quad (2)$$

Величину σ_t называют турбулентным числом Прандтля-Шмидта [4], в стандартной $k - \varepsilon$ модели значение этого числа принято равным 0,7. Экспериментальные исследования, однако, показывают, что его значение может колебаться в достаточно широких пределах: от 0,1 до 2 [4]. В данной работе исследовалось влияние турбулентного числа Прандтля на процессы турбулентного переноса температуры. При этом его значения принимались равными: 0,3; 0,5; 0,7; 0,9. Изменение значения этого числа дает возможность повлиять на интенсивность переноса температуры без изменения гидродинамических характеристик потока.

Для реализации расчета в модели задавался точечный источник среды с температурой выше температуры потока при помощи встроенной функции ПК Ansys CFX. Затем, после проведения расчета, анализировалось температурное поле по длине и сечению модели.

Количественное согласие результатов с экспериментальными данными устанавливалось из сравнения распределений безразмерной тем-

пературы, заданной выражением (3) и безразмерной концентрации (вычисляемой аналогично) на характерном участке установившегося течения.

$$T_{отн} = \frac{T - T_{вх}}{T_{ист} - T_{вх}}, \quad (3)$$

где $T_{вх}$ – температура на входе в участок, $T_{ист}$ – температура в точечном источнике. Результаты расчета распределения безразмерной температуры в ячейке подачи и смежных с ней ячейках по длине при различных числах Pr_i иллюстрирует Рис.5. Как видно из графиков, наилучшее приближение к реальному течению дает расчет, проведенный с $Pr_i = 0,4$. Количественное расхождение результатов оценивалось методом среднеквадратичного отклонения (4) трендов значений расчета и эксперимента.

$$\Delta = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{отн}^{расч} - C_{отн}^{экс}}{T_{отн}^{расч}} \right)^2}}{n} 100\% \quad (4)$$

Для распределения относительных значений скаляров в ячейке подачи $\Delta = 1,6 \%$, для смежных ячеек $\Delta = 5,7 \%$, что говорит об удовлетворительном согласии зависимостей.

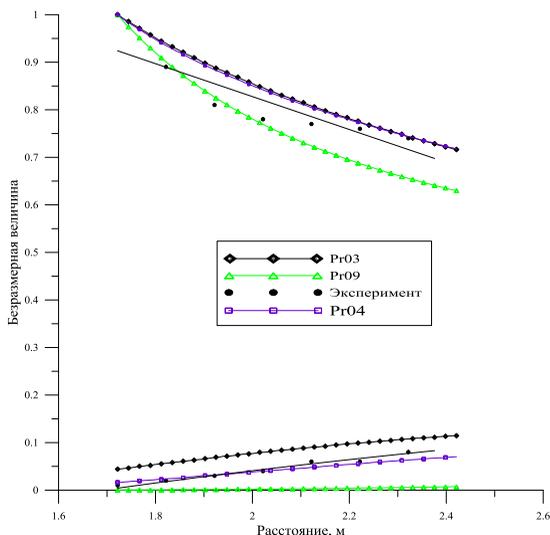


Рис. 5. Распределение безразмерных величин температуры и концентрации

Основываясь на вышесказанном, можно сделать ряд выводов, имеющих практическую значимость для расчета:

1. Стандартная $k - \varepsilon$ модель турбулентности может быть использована для расчетного моделирования динамики вязкой несжимаемой жидкости в гладких стержневых пучках в области автомодельности течения.

2. Массообменные характеристики, полученные в результате расчета, наиболее точно совпадают с реальными при $Pr_t = 0.4$.

3. Методика исследования массообмена при помощи задания точечного источника среды показала себя эффективной при расчетном моделировании течения. Использование данного подхода является значительным упрощением гидродинамической сетки, т.к. не требует построения расчетных узлов в области установки впускного насадка, имеющего сложную геометрическую форму.

Таким образом, в результате работы проведен расчет гидродинамики потока в 19-ти стержневом пучке твэл, создана методика верификации результатов расчета на основе банка экспериментальных данных. Подходы, примененные в данной работе, могут быть использованы для совершенствования расчетного моделирования течений в гидравлических каналах со сложной геометрией.

Библиографический список

1. **Дмитриев, С.М.** Экспериментальные исследования гидродинамических и массообменных характеристик потока теплоносителя в ТВСА ВВЭР / С.С. Бородин, С.М.Дмитриев, М.А. Легчанов, Д.Н. Солнцев, В.Д. Сорокин, А.Е. Хробостов // Атомная энергия. –2012. – т.113. – вып.5.

2. **Снегирев А.Ю.** Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 143с.

3. **Wilcox D.C.** Turbulence modeling for CFD / David C.Wilcox – 3rd edition. DCW Industries Inc., 2006. – 544 p.

4. **Молчанов А.М.** Математическое моделирование задач газодинамики и тепло-массообмена: Учеб. пособие (электрон. вид) / А.М.Молчанов. – МАИ, www.k204.ru.

*А.В. Варенцов, асп.; В.В. Гребеньков, Д.В. Зяблицев, магистранты;
рук. А.Е. Хробостов, к.т.н., доц.
(НГТУ им. Р.Е. Алексева, г. Нижний Новгород)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТВС РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ КЛТ-40С

В настоящее время в России ведется строительство плавучей атомной электростанции (ПАТЭС). Данный проект относится к числу инновационных разработок российской энергетики и не имеет аналогов в мире. ОАО «ОКБМ Африкантов» занимается реализацией проекта атомной энергетической установки малой мощности для плавучей атомной электростанции. Проект ПАТЭС позволит российской атомной промышленности предлагать зарубежным заказчикам уникальную технологию в сегменте реакторов малой и средней мощности.

Энергоисточником вышеупомянутой ПАТЭС является реакторная установка КЛТ-40С. Требования к ядерным энергетическим установкам обуславливают необходимость обеспечения КЛТ-40С эксплуатационной надёжности и безопасности, а также высоких показателей эффективности работы.

Активная зона данной РУ является кассетной и состоит из шести-гранных ТВС. Разработанная в ОАО «ОКБМ Африкантов» ТВС для активных зон реактора КЛТ-40С должна соответствовать международным стандартам и требованиям [1]. Для внедрения данной конструкции в активную зону ядерного реактора, необходимо провести комплекс исследовательских работ по обоснованию теплотехнической надёжности данной тепловыделяющей сборки. Ввиду этого экспериментальное исследование особенностей формирования локальных гидродинамических характеристик потока теплоносителя в пучках твэлов ТВС при использовании дистанционирующих решеток является актуальной задачей.

Экспериментальный стенд и методика проведения исследований

Основным методом изучения гидродинамики сборок твэлов и активных зон реакторов в целом является экспериментальное исследование масштабных и полноразмерных моделей кассет и активных зон на аэро- и гидродинамических стендах. Поэтому исследования локальных гидродинамических характеристик потока теплоносителя проводились

на аэродинамическом экспериментальном стенде на масштабной модели.

Экспериментальная модель (ЭМ), представляющая собой ТВС реактора КЛТ-40С выполнена в полном геометрическом подобии и состоит из: шестигранного чехла, 78-ми цилиндрических твэлов-имитаторов, шести цилиндрических СВП-имитаторов, устройства фиксации датчика, трех поясов дистанционирующих решеток.

Исследования локальных гидродинамических характеристик потока теплоносителя заключались в измерении модуля вектора скорости пятиканальным пневмометрическим зондом внутри трубного пучка экспериментальной модели.

Для получения полной информации о трехмерном течении потока исследования локальной гидродинамики теплоносителя проводились в трех характерных областях: стандартной области (рис. 1а), области вытеснителя (рис. 1б) и периферийной области (рис. 1в). Каждая область включала в себя определенное количество ячеек, которые разбивались на зоны измерения. В каждой из таких зон замеры проводились в 19-ти сечениях по длине ЭМ.

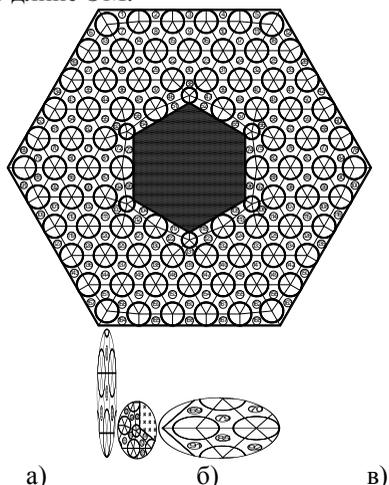


Рис.1. Расположение ячеек в поперечном сечении экспериментальной модели:
а) – стандартная область; б) – область вытеснителя; в) – периферийная область

Результаты экспериментальных исследований локальных полей скорости в модели ТВС реактора КЛТ-40С

Экспериментальные исследования локальных гидродинамических характеристик потока теплоносителя проводились на масштабной мо-

дели ТВС реактора КЛТ-40С. Цель данных исследований заключалась в измерении проекций вектора скорости на оси X, Y, Z в трех характерных областях модели, включающие в себя определенное количество ячеек:

- стандартная область (ячейки №№ 80;86;92;93);
- область вытеснителя (ячейки №№ 87;94;95;103;104;111;112;121);
- периферийная область (ячейки №№ 69;70;79;85;91;92).

Для получения наиболее полного представления о характере течения теплоносителя в рассмотренных областях построены картограммы изотопов относительных скоростей ($\overline{W_x / W}$), ($\overline{W_y / W}$) и ($\overline{W_z / W}$) для исследуемых областей. Такая форма представления экспериментальных данных позволяет качественно определить основные закономерности течения теплоносителя. Из картограмм распределения проекций абсолютной скорости в стандартной области (яч. № 86) видно, что в центре ячейки № 86 наблюдается ярко выраженное ядро потока, имеющее треугольную форму (рис. 4).

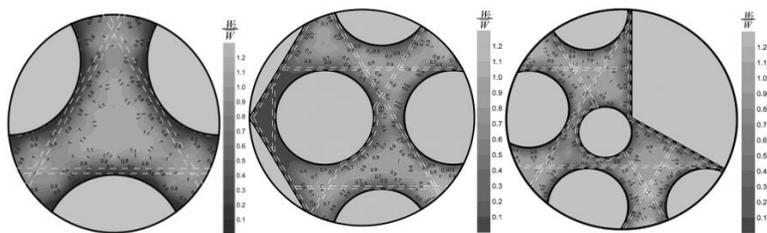


Рис.4. Картограммы распределения относительных скоростей ($\overline{W_x / W}$), ($\overline{W_y / W}$) и ($\overline{W_z / W}$) для зон стандартной, периферийной области и зоны вытеснителя в выходном сечении экспериментальной модели

Значение аксиальной составляющей вектора скорости в ядре потока достигает максимального значения ($\overline{W_z / W}$) = 1,1÷1,2 от среднерасходной скорости.

В ячейках области вытеснителя значения аксиальной составляющей вектора скорости ($\overline{W_z / W}$) распределились следующим образом:

- в ячейках №№ 95, 104 значения ($\overline{W_z / W}$) = 0,90÷1,07;

- в ячейках №№ 94, 112 значения $(W_z / \overline{W}) = 0,95 \div 1,10$;
- в ячейке № 103 значения $(W_z / \overline{W}) = 0,83 \div 1,00$.

По результатам распределения аксиальной составляющей вектора скорости (W_z / \overline{W}) в ячейках области вытеснителя ТВС видно, что значения (W_z / \overline{W}) на (10–15)% меньше, чем в стандартных ячейках.

Для периферийных ячеек было получено следующее распределение значений аксиальной составляющей вектора скорости (W_z / \overline{W}) :

- в ячейках №№ 69, 91 значения $(W_z / \overline{W}) = 0,67 \div 0,84$;
- в ячейках №№ 79, 85 значения $(W_z / \overline{W}) = 0,81 \div 1,00$.

В результате распределения аксиальной составляющей вектора скорости (W_z / \overline{W}) в периферийной области значения (W_z / \overline{W}) на (20–30)% меньше, чем в стандартных ячейках.

Выводы

1. Определены характеристики локальной гидродинамики потока теплоносителя в ТВС реактора КЛТ-40С. По результатам исследований выявлены особенности течения теплоносителя за дистанционирующими решетками, а именно:

а) значения аксиальной составляющей вектора скорости (W_z / \overline{W}) в ячейках области вытеснителя ТВС реактора КЛТ-40С на (10–15)% меньше значений (W_z / \overline{W}) в стандартных ячейках;

б) в периферийных ячейках значения аксиальной составляющей вектора скорости (W_z / \overline{W}) на (20–30)% меньше, чем в стандартных ячейках.

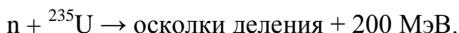
Библиографический список

1. **Варенцов А.В.** Экспериментальное исследование локального массообмена и оценка эффективности перемешивания дистанционирующих решеток в ТВС реактора КЛТ-40С / Варенцов А.В. [и др.]// Материалы XXXII Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий. – Миасс: МСНТ, 2012. С. 111-113.

Н.В. Чубко, Е.А. Оробей, студенты;
рук. И.Ю. Софийский, к.т.н., доц.
(СНУЯЭиП, г. Севастополь)

ТОРИЙ-УРАНОВЫЙ ЦИКЛ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

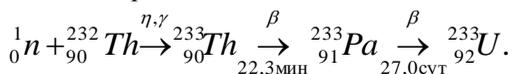
Сейчас и в будущем ядерное топливо будет главным источником энергии для человечества. В настоящее время в ядерных реакторах, основанных на реакциях деления ядер, используются ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu . Во всех этих вариантах используется энергия, высвобождающаяся при делении ядер под действием нейтронов. Так, например:



Однако в мире изучается возможность технической реализации уран-ториевого топливного цикла, который позволяет, во-первых, избежать наработки плутония, во-вторых, эффективность использования топлива может быть близка к эффективности реактора на быстрых нейтронах, а в-третьих, в качестве топлива используется более распространенный, чем уран, торий, что многократно увеличивает ресурсы ядерного топлива.

Когда же был открыт Торий? В 1828 г. Берцелиус получил из Норвегии образец минерала, который представлял из себя - черный тяжелый мягкий минерал (он легко резался ножом) был похож на гадолинит. Берцелиус сделал анализ минерала и обнаружил, что он состоит из кремнезема и окисла неизвестного металла, который вновь получил название торий (Thorium)

Торий, сам по себе не являясь делящимся материалом, поглощает медленные нейтроны и образует делящийся изотоп ^{233}U , который и продолжает цепную реакцию деления. Природный торий состоит практически до $\approx 100\%$ из одного изотопа тория-232. При захвате нейтрона ядром тория-232 образуется торий-233 – β -излучатель, распадающийся с периодом полураспада 22,3 мин в протактиний-233. Дальнейший β -распад протактиния-233 с периодом полураспада 27,7 суток приводит к образованию урана-233. Таким образом, воспроизводство делящегося ^{233}U происходит по цепочке:



При взаимодействии с нейтронами ядро урана-233 или делится ($\approx 90\%$), или захватывает нейтрон с образованием ^{234}U . Последующая цепочка захвата нейтронов приводит к образованию более тяжелых изотопов урана: ^{235}U , ^{236}U , ^{237}U . Последний с периодом полураспада 6,75 суток переходит в нептуний-237.

Торий имеет более предпочтительные технологические свойства по сравнению с ураном: более высокую температуру плавления металлического тория – 1700 °С; существенно более высокую по сравнению с урановым топливом радиационную стойкость металлического тория, близкую к аналогичному показателю керамического топлива; меньшую радиационную опасность при выходе в окружающую среду дочерних нуклидов тория, в основном вследствие меньшего периода полураспада радона и радия, по сравнению с дочерними нуклидами урана; большую стабильность химических соединений и меньшую химическую активность (металлический торий менее интенсивно, чем металлический уран, взаимодействует с водой и водяным паром).

Торий извлекается главным образом из монацитовых концентратов, в которых он содержится в виде фосфата. Промышленное значение имеют два способа вскрытия (разложения) таких концентратов. Первый способ основан на обработке концентрированной серной кислотой при 200 °С (сульфатизация), второй способ заключается в обработке растворами щелочи при 140 °С.

В ядерных реакторах можно использовать весь добываемый торий в отличие от природного урана с содержанием 0,7 % ^{235}U , что увеличивает количество генерированной энергии на единицу массы топлива в 40 раз.

Природные ресурсы ^{232}Th более чем втрое превышают запасы ^{238}U . Торий встречается во многих минералах, наиболее распространенным из которых является монацит, в котором содержится до 12 % оксида тория. Наибольшие залежи этого минерала, доступного для добычи, имеются в таких странах, как: Австралии, Индии, Бразилии, Египта, Украины («Черные пески» в Мариуполе).

Сегодня из промышленных реакторов наиболее способны к работе на ториевом топливе реакторы с эффективными нейтронными потоками типа CANDU.

Реактор серии CANDU имеет более гибкое требование к ядерному топливу. В качестве топлива можно будет использовать уран с природной степенью обогащения, низкообогащенный уран, смешанное оксидное уран-плутониевое топливо, отработанное ядерное топливо легководных реакторов без его предварительной переработки, уран-ториевое и плутоний-ториевое топливо. Имея очень большие запасы

тория (в шесть раз превышающие запасы урана), широкомасштабные разработки по Th – ^{233}U -топливному циклу ведет Индия. В качестве основной задачи промышленного производства энергии Индия поставила задачу внедрения ториевого цикла, которая будет решаться в три этапа:

- тяжеловодные реакторы CANDU, работающие на топливе из природного урана, будут использоваться для наработки плутония;
- реакторы-бридеры на быстрых нейтронах на основе полученного плутония будут производить ^{233}U из тория;
- перспективные тяжеловодные реакторы будут работать на ^{233}U и тории, получая 75 % энергии из тория.

В Украине запасы природного урана и тория для торий-уранового цикла практически неограниченны, поэтому в перспективе могут быть освоены ВВЭР-1000 и жидко-солевые реакторы вместе с топливным циклом.

Реализация ториевого топливного цикла в ВВЭР-1000 производится путем смешанной загрузки активной зоны различными типами ТВС.

Стартовая загрузка производится семью типами ТВС. ТВС типа В, В1 и В2 – бланкетные, содержащие топливные композиции $\text{ThO}_2\text{-U}^{235}\text{O}_2$ с концентрацией U^{235} 3,8 % (В); 4,8 % (В1); 6,8 % (В2). ТВС типа Z, Z1, Z2, Z3 – запальные, содержащие топливные композиции $\text{ThO}_2\text{-Pu}^{239}\text{O}_2$ с концентрацией Pu^{239} 6,9 % (Z) 8,9 % (Z1); 10,9 % (Z2) и 12,9 % (Z3). Значения концентрации соответствуют долям ядерных концентраций тяжелых нуклидов. Доля ТВС каждого типа в радиальных кольцевых секторах приведены в таблице.

Таблица 1 - Доля ТВС каждого типа в радиальных кольцевых секторах

Радиальный сектор	Тип ТВС						
	В	В1	В2	Z	Z1	Z2	Z3
I	47,24	16,54	-	36,22	-	-	-
II	-	78,57	-	16,67	4,76	-	-
III	-	47,62	9,52	-	42,86	-	-
IV	-	-	66,67	33,33	-	-	-
V	-	-	76,19	-	14,29	9,52	-
VI	-	-	61,91	-	-	38,09	-
VII	-	-	52,38	-	-	33,33	14,29
VIII	-	-	71,43	-	-	9,52	19,05
IX	-	-	64,29	-	-	-	35,70
X	-	-	38,09	-	-	-	61,91
XI	-	-	19,05	-	-	-	80,95
XII	-	-	-	-	-	-	-

Однако торий-урановому циклу присущ ряд технических проблем, связанных с высокой радиоактивностью ^{233}U и пока не решенных должным образом. Нарабатываемый ^{233}U содержит значительные количества долгоживущего изотопа ^{232}U (период полураспада 70 лет) с жестким гамма – излучением продуктов его распада (^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{208}Tl) и высокой радиоактивностью ^{228}Th . Несмотря на то, что загрязнение ^{233}U изотопом ^{232}U является дополнительной степенью защиты от распространения, но одновременно делает невозможным изготовление тепловыделяющих элементов в открытых условиях, и служит технологическим препятствием при обращении с таким топливом на эксплуатируемых реакторных установках.

Именно это обстоятельство послужило основанием для разработки концепции жидко-солевых ядерных реакторов с безвзвешенными активными зонами, топливо в которых может находиться в жидком виде.

На рис. 1 изображена принципиальная схема жидко-солевого реактора (ЖСР). Смесь солей легких металлов (обычно рассматривают смесь фторидов лития, натрия, бериллия со сравнительно низкой температурой плавления) с растворенными в ней солью делящегося изотопа ^{235}U или ^{239}Pu и солью воспроизводящего изотопа ^{232}Th или ^{238}U представляет собой топливную композицию.

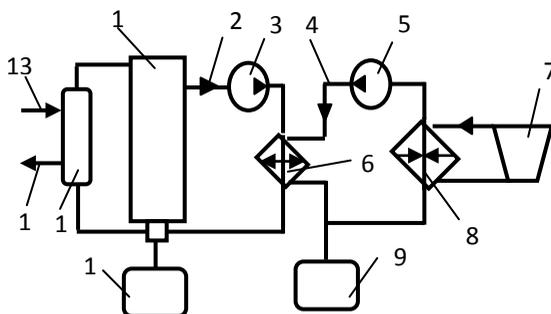


Рис. 1. Схема жидко-солевого реактора: 1– реактор; 2 – топливный контур; 3 – насос топливного контура; 4 – промежуточный контур; 5 – насос промежуточного контура; 6 – теплообменник; 7 – турбина; 8 – парогенератор; 9, 10 – дренажные баки промежуточного и топливного контуров; 11 – система переработки топливной соли; 12 – выход продуктов деления; 13 – подвод реагентов

Эта композиция циркулирует в контуре, состоящем из реактора (1), где протекает контролируемая цепная реакция деления в присутствии

замедлителя - графита, и отдельно размещенного теплообменника (6), где выделенное тепло передается теплоносителю промежуточного контура.

В отличие от твердотельного реактора с твэлами зоны генерации теплоты и ее передачи здесь разделены, что заметно улучшает нейтронный баланс за счет того, что в самом реакторе теплообменника нет. Параллельно основному контуру циркуляции существует малый байпасный контур, в котором в той или иной степени организуется непрерывно протекающая очистка солевой расплава от осколочных элементов - нейтронных ядов, что ведет к дальнейшему улучшению нейтронного баланс

Очистка осуществляется химическим минизаводом. Он на схеме представлен аппаратом 11. Здесь производится отделение нерастворимых в расплаве газообразных продуктов (благородных газов, трития, йода), трудно растворимых металлов и умеренно растворимых фторидов. На схеме указаны также насосы (3, 5), парогенератор с турбиной (8, 7) и дренажные баки (9, 10), куда может сливаться солевой расплав первого и второго контура на случай ремонта или аварийной ситуации.

К достоинствам можно отнести то, что в отличие от реактора с твэлами ЖСР обладает существенно более высоким уровнем ядерной безопасности, поскольку необходимая избыточная критичность может достигать весьма малых значений не только в результате непрерывной очистки от нейтронных ядов, но и вследствие возможности дополнительной регулировки критичности прямо в ходе кампании облучения путем введения малых добавок делящегося или воспроизводящего материала непосредственно в солевой расплав по мере выгорания топлива. К тому же реактор на расплаве обладает высоким отрицательным значением температурного коэффициента реактивности, т.е. с повышением температуры расплав сильно расширяется и система автоматически выходит из области критичности

Недостатками же является необходимость организовывать переработку топлива на АЭС; более высокая коррозия от расплава солей; более высокие дозовые затраты при проведении ремонта 1-го контура по сравнению с ВВЭР; низкий коэффициент воспроизводства ($K_B \sim 1,06$ для MSBR-1000) по сравнению с жидкометаллическими реакторами с натриевым теплоносителем ($K_B \sim 1,6$ для БН-600, БН-800).

ВЫВОДЫ

1. Для того чтобы реализовать топливный цикл с использованием тория, необходимо решить много сложных технических проблем.

Прежде всего, необходимо определить основные типы реакторов, позволяющие не только осуществить ториевый топливный цикл, но и обеспечить наибольший экономический эффект.

2. Отсутствие наработки плутония и других долгоживущих радиоактивных отходов и воспроизводство топлива без использования реакторов на быстрых нейтронах обеспечивают решение главных проблем ядерной энергетики - радиоэкологическую безопасность и долгосрочное ресурсное обеспечение.

Библиографический список

1. Пухлий В.А. Концепция ториевой энергетики / В.А. Пухлий, И.Ю. Софийский, С.Т. Мирошниченко // 36. Наук. Пр. СНУЯЕтаП. - Севастополь: СНУЯЭиП, 2010. – Вып. 4(36). – С. 178 – 182.
2. Соколова И.Д. Использование тория в ядерно-энергетических реакторах / И.Д. Соколова, Н.А. Шульга, И.В. Блинова // Атомная техника за рубежом. – 2009. - №8. – С. 3 – 15.
3. Мишель Лунг. Перспективы ториевого цикла // Доклад на семинаре в Объединенном исследовательском центре, Италия, июнь 1996 года.
4. Бойко В.И. Перспективные ядерные топливные циклы и реакторы нового поколения: Учеб. пособие / В.И. Бойко. Д.Г., Демянюк, и др. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 490 с.

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ И МАССООБМЕНА ПОТОКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТВСА РЕАКТОРА ВБЭР-300

Внедрение атомных станций средней мощности в региональные энергосистемы позволит уменьшить затраты регионов на закупки природного газа и топливного мазута, повысить системную надежность энергоснабжения, ограничить рост тарифов на электрическую и тепловую энергию, отпускаемую населению и промышленным предприятиям, улучшить экологическую обстановку в районе размещения. При анализе мирового рынка реакторов выяснилось, что промышленного варианта станций средней мощности практически не существует. Зарубежные компании, такие, как «Westinghouse», «General Electric» производят реакторы мощностью от 1000 МВт. На сегодняшний день ниша реакторов малой и средней мощности пустует. Поэтому было при-

нято решение разработать реактор ВБЭР-300 на базе судовой реакторной установки блочного типа.

В реакторной установке ВБЭР 300 используются бескожуховые

ТВСА каркасной конструкции – аналоги ТВС, разработанных в «ОКБМ Африкантов» для реакторов ВВЭР-1000, в которых сконцентрированы все инновационные решения по повышенной надежности активной зоны и эффективности использования топлива.

Одним из вариантов модернизации ТВСА реактора ВБЭР-300 является применение перемешивающих решеток, которые позволяют улучшить перемешивание теплоносителя между ячейками и турбулизировать поток в пределах отдельных ячеек. Это достигается использованием в решетках лопаток, дефлекторов потока и других элементов, обеспечивающих перемешивание теплоносителя в поперечном сечении ТВС. Наличие подобных элементов может привести к заметному повышению гидравлического сопротивления самой сборки, что будет являться нежелательным фактом. Поэтому оптимальная конструкция решетки требует поиска вариантов, обеспечивающих наиболее благоприятное сочетание таких параметров, как интенсивность перемешивания, гидравлические потери и запасы до кризиса теплоотдачи.

Ввиду этого экспериментальное исследование условий и закономерностей формирования локальных и интегральных характеристик гидродинамики потока теплоносителя с получением обобщающих зависимостей является важной задачей, решение которой позволило обосновать теплотехническую надежность активной зоны реактора.

Таким образом, особенности конструкции ТВСА реактора ВБЭР-300 требуют детального изучения и анализа локальных характеристик межъячеечного массообмена и гидродинамических характеристик потока теплоносителя.

Для проведения исследований был разработан и создан экспериментальный стенд, представляющий собой аэродинамический разомкнутый контур, через который прокачивается воздух. Стенд состоит из вентилятора высокого давления, ресиверного резервуара, экспериментальной модели и измерительного комплекса. Схема и общий вид экспериментального стенда представлен на рис. 1.

Экспериментальная модель (ЭМ) представляет собой фрагмент активной зоны реактора ВБЭР 300 и включает в себя сегменты трех топливных кассет. Она выполнена с коэффициентом геометрического подобия $K_g=4,4$, имеет длину $L=3$ м и состоит из шестигранного чехла, девятиста четырех цилиндрических твэлов-имитаторов, поясов дистанционирующих и перемешивающих решеток.

Исследование локальных характеристик межъячеечного массообмена потока теплоносителя в экспериментальной модели осуществлялся методом диффузии примесей (метод трассера).

Данный метод основан на регистрации поперечного потока массы по некоторой переносимой субстанции (краски, соли, газа и т.д.).

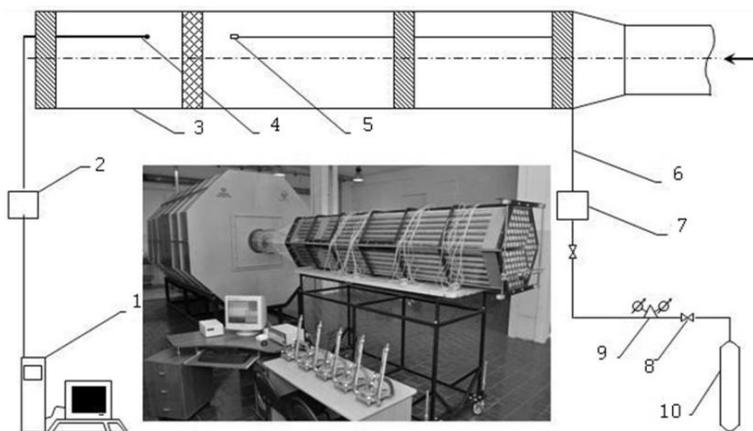


Рис. 1. Схема и общий вид экспериментального стенда:

1 – ЭВМ; 2 – модульный газоанализатор; 3 – экспериментальная модель; 4 – устройство отбора проб трассера; 5 – устройство ввода трассера; 6 – подвод трассера; 7 – расходомерное устройство; 8 – запорная и регулирующая арматура; 9 – редуктор; 10 – газовый баллон

Методика экспериментальных исследований локального массообмена на экспериментальном стенде заключалась в следующем:

- поперечное сечение ЭМ было разбито на ячейки каждой из которых был присвоен свой индивидуальный номер;

- газовый трассер через впускной зонд подавался в три характерные области (стандартная, уголковая и область межкассетного зазора) ЭМ до пояса перемешивающей решетки по ходу течения потока теплоносителя. Далее с помощью трубки Пито-Прандтля производился отбор концентрации трассера газоанализатором по центрам всех ячеек за поясом ПР в характерных сечениях ЭМ;

- по полученным данным строились картограммы и графики зависимости распределения концентрации трассера по длине экспериментальной модели от относительной координаты для характерных зон поперечного сечения при постановке пояса перемешивающей решетки.

Анализ распределения концентрации трассера по длине ЭМ при различных вариантах подачи трассера (рис. 2) позволил выявить следующие закономерности течения потока теплоносителя:

- за дефлекторами перемешивающей решетки происходит направленное, постепенно затухающее движение трассера, обусловленное соответствующим расположением дефлекторов ;
- расстояние, на котором происходит затухание возмущений массообменных процессов за перемешивающей решеткой составляет $\Delta l/d=17\div 18$;

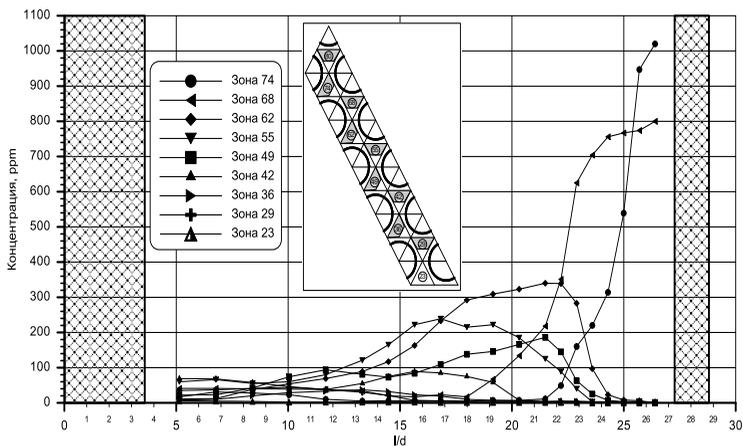


Рис. 2. Распределение концентрации трассера по экспериментальной модели фрагмента активной зоны реактора ВВЭР-300 с ТВСА в характерных зонах при постановке перемешивающих решеток

– экспериментально определено, что не весь трассер движется в направлении, определенном дефлектором; часть трассера передается в соседние ячейки за счет турбулентного массообмена, имеющего значительно большую величину за перемешивающей решеткой вследствие дополнительной турбулизации потока;

– интенсивность массообменных процессов в угловых зонах ТВСА приближается к соответствующей величине в стандартной области (рис. 3а,б);

– глубина распространения газа трассера из межкассетного зазора в соседние ТВСА охватывает область двух периферийных рядов твэлов (рис. 3в).

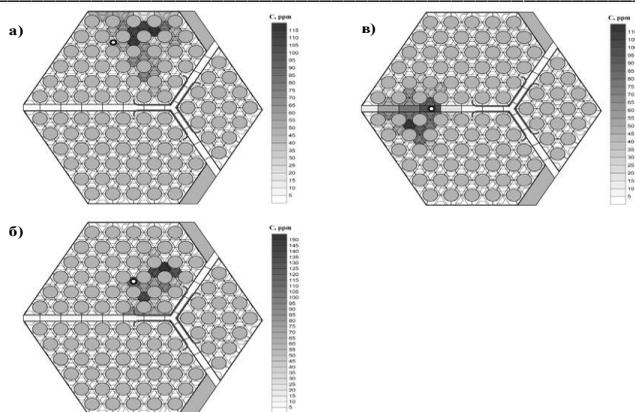


Рис 3. Распределение концентрации трассера в выходном сечении ЭМ за перемешивающей решеткой при различных вариантах подачи трассера: а) при подаче в стандартную область; б) при подаче в уголковую область; в) при подаче в межкассетный зазор; \circ - зона подачи трассера

Обобщена экспериментальная информация и создан банк данных для верификации CFD-кодов и программ детального поячеечного расчета активной зоны реактора ВВЭР с целью уменьшения консерватизма при расчетах теплотехнической надежности.

Библиографический список

1. **Варенцов А.В.** Экспериментальное исследование локального массообмена и оценка эффективности перемешивания дистанционирующих решеток в ТВС реактора КЛТ-40С / Варенцов А.В. [и др.]// Материалы XXXII Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий. – Миасс: МСНТ, 2012. С. 111-113.

*М.А. Спорышев, М.М. Угрюмов, студенты;
рук. М.А. Вольман, ассистент*

ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПОДПИТКИ-ПРОДУВКИ ПЕРВОГО КОНТУРА ЭНЕРГОБЛОКА С РЕАКТОРОМ ВВЭР-1000

В настоящее время в связи с быстрым развитием информационных технологий актуальной становится задача их широкого внедрения в учебный процесс. В свою очередь, важным элементом подготовки специалистов для эксплуатации ядерных энергоустановок является

изучение ими различных систем и вспомогательного оборудования. Цель проекта – создание виртуальной модели одного из элементов энергоблока с реактором ВВЭР-1000, а именно системы подпитки-продувки первого контура. Данная система предназначена для изменения концентрации поглотителя нейтронов в теплоносителе первого контура с целью регулирования реактивности при изменениях нагрузки, пусках и остановах реактора, а так же для поддержания требуемого качества теплоносителя во всех нормальных режимах работы блока. Ее принципиальная схема представлена на рисунке 1.

Модель дает возможность детального изучения работы воссоздаваемой системы, принципов функционирования входящего в ее состав оборудования. Для достижения поставленной цели использовался инструмент компьютерного моделирования ЗКЕУМАСТЕР.

Платформа моделирования ЗКЕУМАСТЕР – многоцелевая среда для разработки, отладки, исполнения, тестирования, интеграции и конечной эксплуатации созданных моделей. Данная платформа выполнена в виде единого и удобного для пользователя программного пакета, доступ к которому осуществляется через графическую станцию разработчика. Благодаря ЗКЕУМАСТЕР можно разрабатывать новые модели различных систем в теплоэнергетике, воссоздавать реально существующие элементы для изучения и понимания особенностей их исполнения. Возможно моделирование в реальном или ином масштабе времени.

Моделирование системы подпитки-продувки первого контура производилось с помощью инструментов ЗКЕУМАСТЕР, которые представляют собой набор объектно-ориентированных графических инструментов, со встроенными алгоритмами числовых решений. Они позволили воссоздать основные элементы системы, такие как трубопроводы, насосы, баки объемов, арматура, регенеративные теплообменники.

Виртуальная модель проста и наглядна, но, в то же время, содержит всю необходимую информацию о системе, достоверно повторяет ее поведение во всех режимах, что позволяет использовать ее в учебном процессе.

Работа с виртуальной моделью и самим инструментарием позволяет овладеть такими навыками, как:

- проведение физических экспериментов на различных этапах работы энергоблока;
- умение использовать математические модели и программные комплексы для численного анализа всей совокупности процессов в ядерно-энергетическом и тепломеханическом оборудовании станции;

- умение выполнять теплогидравлические и нейтронно-физические расчеты узлов и элементов проектируемого оборудования с использованием современных средств.

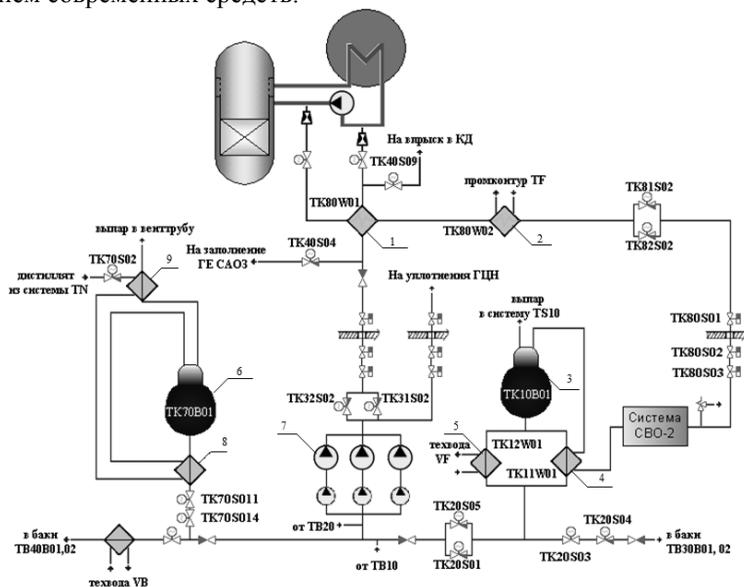


Рис. 1. Принципиальная схема системы подпитки-продукви.

1 – регенеративный теплообменник продукви; 2 – доохладитель продукви; 3 – деаэрактор подпитки; 4 – охладитель подпиточной воды; 5 – доохладитель подпиточной воды; 6 – деаэрактор борного регулирования; 7 – подпиточные агрегаты; 8 – охладитель дистиллята; 9 – охладитель выпара

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

ОРГАНИЗАЦИЯ И КОНТРОЛЬ ТЕПЛОВЫХ РАСШИРЕНИЙ ПАРОВЫХ ТУРБИН

В процессе эксплуатации паровых турбин возможны режимы перехода металла корпуса и ротора из одного температурного состояния в другое. При этом происходят тепловые расширения, как статора, так и ротора турбины. Для организации тепловых расширений в конструкции турбины предусмотрена установка продольных, поперечных и вертикальных шпонок. Необходимо так же контролировать осевой

сдвиг ротора, значение которого не должно превышать относительно корпуса 0,6 мм.

Во избежание задания рабочих лопаток ротора за элементы статора возникает необходимость контроля относительных расширений ротора (ОРР) ЦВД и ЦСД, а так же абсолютных расширений ротора ЦНД. Предельные значения контрольных показателей теплового расширения и осевого сдвига роторов турбины К-1000-60/1500-1 сведены в таблицу и представлены ниже.

Таблица 1 - Предельные значения контрольных показателей теплового расширения и осевого сдвига

N	Параметр	Значение	Действие
1	Осевой сдвиг ротора	+0.6..-1.2 мм +1.2..-1.8 мм более	Предупредительная сигнализация. Останов турбины Останов со срывом вакуума
2	Относительное расширение ротора ЦВД (ОРР ЦВД)	-3.5 мм +3.0 мм	Прекратить нагружение (разгрузку) турбоустановки при предельном значении
3	Относительное расширение ротора ЦСД (ОРР ЦСД)	-5.0 мм +2.5 мм	Прекратить увеличение температуры пара после СПП при предельном значении
4	Абсолютное расширение роторов ЦНД (АРР ЦНД)	-1.5 мм +24.0 мм	Прекратить увеличение температуры пара после СПП при предельном значении

С использованием вышеизложенного материала предполагается создать компьютерный обучающий модуль по данной теме и имитационную модель температурных состояний паровой турбины.

*Е.Э. Алиакберов, студ.; В.Г. Работаев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ УЧЕБНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Уже несколько лет на кафедре атомных электростанций создаются различные программы расчета разных этапов проектирования турбин.

Предварительный расчет, детальный расчет, расчет на прочность рабочих лопаток, расчет уплотнений, расчет хвостовиков на прочность, и другие, а также созданные недавно справочные материалы по существующим турбинам в электронном виде. Их большое множество и они дают верные результаты. Недостатком является то, что это отдельные модули, приходится искать нужную программу и затем водить в неё данные вручную, а если в программе приняты другие обозначения, то это дополнительно усложняет процесс.

Целью данной работы является создание управляющей программы. В ней будут объединены ранее созданные модули расчета в последовательности соответствующей ходу проектирования. Вначале будут предложены прототипы уже существующих турбин, на основе которых будут рассчитываться проектируемые турбины. Данные прототипов могут быть подкорректированы, либо созданы заново. Далее, чтобы обеспечить комфортную работу с программами, не отвлекаясь на перенос данных из одной в другую, также будет реализован обмен данными между ними. Всё это будет сопровождаться справочными материалами и инструментами для построения графиков и некоторых схем. В результате должна получиться целостная система автоматизированного проектирования турбин.

*А.С. Еловигов, Д.В. Петин, студенты;
рук. А.Ю. Токов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СТАТИСТИКА ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБОК ПАРОГЕНЕРАТОРОВ ДЕЙСТВУЮЩИХ АЭС

Парогенераторы являются наиболее повреждаемыми теплообменными аппаратами на АЭС. На АЭС с ВВЭР в период с 1980 по 1996 г. по причине повреждения теплообменных трубок (ТОТ) были заменены 106 вертикальных и горизонтальных ПГ на 37 энергоблоках в мире. Но если для вертикальных ПГ выход из строя трубчатки и их замена помимо коррозионных повреждений были также обусловлены виброизносом, дентингом, то все горизонтальные ПГ были заменены исключительно по причине коррозионных повреждений ТОТ.

Ниже приведены результаты вихретокового контроля ТОТ парогенераторов 1-го блока Калининской АЭС, а также 4-го блока Нововоронежской АЭС [1]. Контроль проводился сотрудниками соответствующих станций.

Таблица 1 - Общее количество проконтролированных труб блока №1 по годам

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Всего по ПГ
ПГ-1	505	0	512	0	10900	0	0	11917
ПГ-2	511	0	531	0	0	1231	0	2273
ПГ-3	541	912	613	5650	0	0	1502	9218
ПГ-4	515	1526	998	0	0	314	0	3353

Общее количество: 26761

Общее количество проконтролированных ТОТ 4-х ПГ 1-го блока в период с 1996 по 2002 составляет 26761 штук. Из них 155 ТОТ заглушено, и зафиксировано 5 случаев обрыва. Общее количество проконтролированных ТОТ 4-х ПГ 2-го блока в период с 1996 по 2002 – 27753 штук. Из них 13 ТОТ заглушено, и 5 случаев обрыва.

В табл.2 приведены результаты контроля ТОТ ПГВ-1000 четвертого блока НВАЭС. По количеству заглушенных труб по результатам контроля составило 259.

Таблица 2 - Результаты контроля ТОТ ПГВ-1000 четвертого блока НВАЭС

Наименование параметра	Дата ППР, год		
	2003	2005	2008
Количество проконтролированных труб, штук	5465	515	1202
Количество индикаций, штук	70	29	96
Количество заглушенных труб, штук	61	94	104
Количество вновь образовавшихся дефектов, штук	24	6	75
Количество идентифицированных дефектов, штук	7	0	36
Суммарное количество проконтролированных труб, штук	7182		

В табл. 3 приведены результаты контроля ТОТ ПГ–1 первого блока Калининской АЭС. По данным контроля количество заглушенных труб 290.

В общем случае повреждаемость элементов теплообменных трубок на АЭС обуславливается непроектными явлениями (повышенная удельная загрязнённость, поступление окислителей, коррозионно-активных примесей, эпизодические отклонения от норм ведения ВХР).

Для решения данной задачи концерном «Росэнергоатом» была создана рабочая группа, включающая службы эксплуатации, ремонта и материаловедения, обеспечивающие безаварийную работу АЭС с ВВЭР-440 и ВВЭР-1000.

Таблица 3 - Результаты контроля ТОТ ПГВ-1000 первого блока КнАЭС

Наименование параметра	Дата ППР, год				
	1996	1998	2000	2006	2007
Количество проконтролированных труб, штук	503	512	10901	1291	3035
Количество индикаций, штук	14	154	441	383	300
Количество заглушенных труб, штук	0	19	65	91	115
Плотность дефектов, отн. ед.	0,028	0,301	0,04	0,297	0,098
Количество вновь образовавшихся дефектов, штук	—	18	92	89	79
Количество идентифицированных дефектов, штук	—	11	16	15	3
Суммарное количество проконтролированных труб, штук	16242				

Целями этой рабочей группы являются:

1. Мониторинг, т.е. своевременное выявление повреждений в наиболее критических узлах и элементах ПГ, возникающих в процессе эксплуатации парогенераторов, в частности, в теплообменных трубках, сварных швах приварки коллекторов теплоносителя к корпусу ПГ и в других элементах.

2. Опережающий анализ технического состояния и прогнозирование дальнейших изменений в исследуемых элементах парогенераторов. Проведение анализа требует проведения расчетов и при необходимости экспертных оценок.

Объектами мониторинга являются все парогенераторы, которые эксплуатируются на российских АЭС с ВВЭР. Информационным обеспечением мониторинга являются:

- ежемесячные отчеты АЭС по эксплуатации блоков;
- результаты неразрушающего контроля узлов и элементов всех парогенераторов, находящихся в эксплуатации;
- информация о ВХР второго контура и загрязненности трубочки;
- другая оперативная информация о фактическом состоянии элементов и узлов ПГ.

Используемая в настоящее время методология оценки работоспособности теплообменных труб ПГ включает в себя: анализ эксплуатационных характеристик (режимы, контроль, ВХР и т.п.); статистический анализ состояния трубочки на основе ВТК; вероятностный анализ состояния теплообменных труб.

В настоящее время разрабатываются расчетные методики и программы для прогнозирования роста числа дефектов, что позволит оптимизировать длительность межремонтных периодов и избежать необоснованных вскрытий парогенераторов.

Библиографический список

1. **Трунов Н.Б.** и др., Прошлое и будущее горизонтальных парогенераторов. 7-й Международный семинар по горизонтальным парогенераторам, г. Подольск, Октябрь 2006.

2. **Бергункер В.Д.** Целостность теплообменных труб вертикальных и горизонтальных парогенераторов (сравнительный анализ). 7-й Международный семинар по горизонтальным парогенераторам, г. Подольск, Октябрь 2006.

*А.В. Власова, А.Г. Крестниковский, инженеры; Д.А. Петров, студ.;
рук. А.Ю. Токов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ ПАРОГЕНЕРАТОРА ПГВ-1000М

В проекте АС-2006 предусматриваются реакторы повышенной мощности ВВЭР-1200. Габариты реактора и парогенератора остаются практически такими же, хотя нагрузка возрастает на 7%. В связи с этим возрастает интерес к возможностям форсирования мощности ПГ на действующих блоках.

Главной проблемой является обеспечение требуемой влажности пара, не более 0,2%. Сепарация влаги обеспечивается гравитационным путем, оседание капель влаги зависит от скорости выхода пара, т.е. от паровой нагрузки зеркала испарения. Важным является равномерная паровая нагрузка зеркала испарения, иначе в отдельных местах скорость выхода пара будет больше и унос влаги увеличивается.

Расчет сепарационных характеристик в проектах ПГ [1] выполняется с коэффициентами неравномерности паровой нагрузки на выходе с погруженного дырчатого листа (ПДЛ), равными 1,25. С учетом опытных данных эти коэффициенты оказываются больше, порядка 1,35. По результатам расчета ПГ с жалюзийным сепаратором, дополнительными дырчатыми листами и модернизированной системой водопитания при работе энергоблока на 104% номинальной мощности и в режимах с отклонением параметров получено, что:

- критическая влажность пара, соответствующая критической высоте парового пространства, находится в интервале 0,02 - 0,04 %;

- скорость пара на входе в жалюзи меньше критической скорости пара, что, как показывают исследования и опыт эксплуатации, является достаточными условиями для обеспечения проектной влажности пара не более 0,2 % по массе за жалюзийным сепаратором. Отметим, что критическая влажность пара ($\omega_{кр} = 0,039\%$), соответствующая критической высоте парового пространства, в данном случае приблизилась к ее верхнему допустимому пределу равному 0,040 %.

В рамках отраслевой программы концерна “Росэнергоатом” были проведены испытания ПГ на Калининской, Балаковской и Ростовской АЭС при повышении нагрузки до 104% номинальной мощности.

Результаты сепарационных испытаний на Калининской, Балаковской и Ростовской АЭС приведены на рис.1, из которого видно, что влажность пара сильно повышается с ростом уровня (распухания зерна испарения).

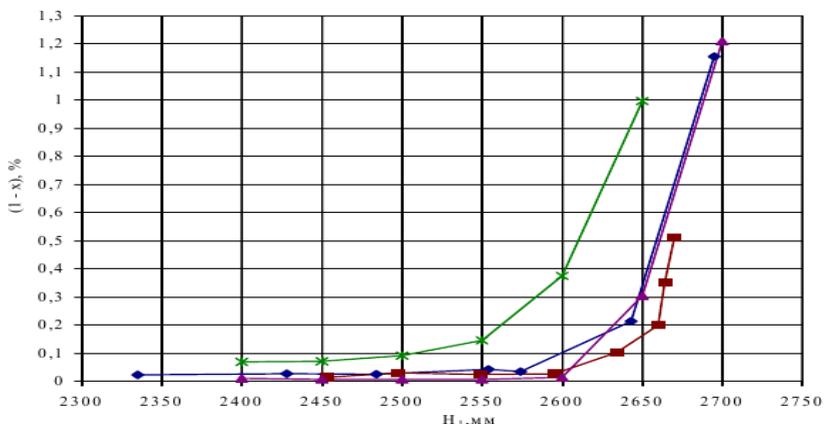


Рис.1. Сепарационные характеристики ПГ с ПДДЛ

- ◆— ПГ-2 второго энергоблока БлкАЭС, N=100 %, D=1520 т/ч (2003 год)
- ПГ-2 второго энергоблока БлкАЭС, N=104%, D= 1541 т/ч (2008 год)
- ▲— ПГ-4 третьего энергоблока КлнАЭС, N=100 %, D=1420 т/ч
- *— ПГ-1 первого энергоблока РоАЭС, N=104 %, D=1660 т/ч (2008 год)

Сепарационная схема парогенератора в процессе эксплуатации постоянно совершенствовалась. Модернизация заключалась в том, что для подавления выброса пара в обход ПДДЛ было выполнено перекрытие зазора на «горячей» стороне ПГ между корпусом и закраиной ПДДЛ путем продолжения ПДДЛ до корпуса.

В результате проведенных испытаний [2,3] было установлено, что влажность пара в паропроводе практически «отслеживает» ее значение на нижней кромке жалюзи. При низком значении влажности в этой зоне ПГ (перед жалюзи) фиксируется и низкая влажность в паропроводе. При увеличении влажности на нижней кромке жалюзи с ростом уровня практически одновременно растет и влажность в паропроводе. Такое соотношение зависимостей влажности от уровня до и после жалюзийного сепаратора характерно при его использовании в сочетании со свободным паровым объемом. В связи с этим, стало возможным заменить жалюзийный сепаратор на пароприемный дырчатый лист (ППДЛ) в парогенераторах пусковых энергоблоков реакторных установок В-320.

На рис.2 показаны сепарационные характеристики ПГ с ППДЛ согласно [3]. В результате совершенствования сепарационной схемы улучшились сепарационные характеристики, что может позволить поднять контролируемый уровень воды в ПГ.

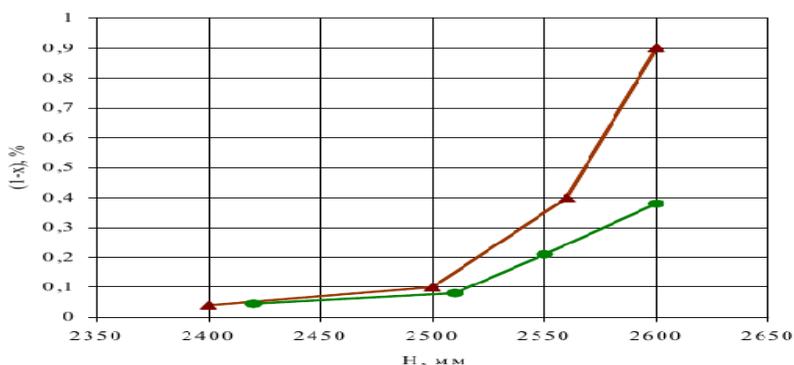


Рис.2. Улучшение сепарационных характеристик ПГ после замены жалюзи на ППДЛ:

▲ – ПГ-3: серийный (до модернизации); ● – ПГ-4: закрыт зазор между ППДЛ и корпусом на «горячей» стороне

Парогенераторы четвертого блока Балаковской АЭС имеют различную сепарационную схему. В парогенераторе №4 на место жалюзи с использованием его рамы установлен потолочный ППДЛ. В результате испытаний установлено, что наилучшую сепарационную характеристику имеет ПГ №4, а ПГ с жалюзийными сепараторами, начиная с уровня воды в ПГ 2500-2600 мм резко увеличивают влажность пара.

То же можно сказать про ПГ первого энергоблока Ростовской АС при работе на мощности 104% [3]. Парогенераторы имеют «плюсский» ППДЛ в отличие от экспериментального «ломанного» на ПГ №4 четвертого блока Балаковской АС. Даже при уставке срабатывания блокировки по повышению уровня +200 мм от номинального 2400 мм в ПГ обеспечивается требуемая влажность пара. Тем не менее, имеется существенное различие сепарационных характеристик по петлям РУ. По-видимому, это связано с направлением отбора пара из пароприемного коллектора. Влажность пара выше в тех ПГ, у которых отбор осуществляется в сторону «горячего» коллектора теплоносителя.

Выводы

1. Имеющиеся в настоящие время сепарационные схемы с жалюзийным сепаратором и с потолочным пароприемным дырчатым листом позволяют обеспечить требуемую влажность пара 0,2%.

2. Запасы по обеспечению требуемой влажности при дальнейшем повышении мощности свыше 104% у парогенераторов с жалюзийной сепарационной схемой практически отсутствуют.

3. Для улучшения сепарационных характеристик необходимо реконструировать сепарационную схему с применением переменной перфорации ПДЛ и ППДЛ с целью уменьшения неравномерности паровой нагрузки зеркала испарения ПГ, а также влияния набухания уровня вблизи горячего коллектора.

Вопрос о неравномерности сепарационных характеристик ПГ по петлям требует дальнейшего изучения.

Библиографический список

1. **Парогенератор** с опорами. Обоснование способности парогенераторов обеспечить повышенную нагрузку для типовой РУ В-320. - ФГУП ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2008.

2. **Отчет** о выполнении программы по повышению мощности реактора энергоблока №4 Балаковской АЭС до 104 % номинальной мощности. - Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом» - Балаковская АЭС, 2009.

3. **Анализ** результатов сепарационных испытаний парогенераторов 1УВ10W01, 1УВ20W01, 1УВ30W01, 1УВ40W01 на этапе освоения тепловой мощности РУ 104% номинальной. Энергоблок №1 Ростовской АЭС. - Филиал ОАО «Концерн Энергоатом» - Волгодонская АЭС, 2008.

*А.Л. Сироткина, студ.; рук. И.И. Лоцаков, д.ф.-м.н., проф.
(СПбГПУ, г. Санкт-Петербург)*

РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОДООХЛАЖДАЕМОГО РЕАКТОРА СО СВЕРХКРИТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ РАСХОДЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Водо-водяные реакторы (реакторы типа ВВЭР, в зарубежной терминологии – PWR, Pressure Water Reactor) на сегодняшний день являются одними из наиболее распространенных и освоенных. Однако относительно низкая температура теплоносителя на выходе из реактора (~320 °С) при достигнутых уровнях давления в первом контуре (16÷17 МПа) предопределяет невысокую термодинамическую эффективность энергоблока. КПД атомных станций с реакторами ВВЭР-1000 составляет ~33%, ВВЭР-1200 – около 35%.

Ограничения по выходной температуре теплоносителя связаны с необходимостью обеспечить приемлемый запас до температуры насыщения. При докритических параметрах температура насыщения очень слабо увеличивается с ростом давления. Отсюда ключевой путь развития водоохлаждаемых реакторов – переход к сверхкритическому давлению теплоносителя.

В реакторах IV поколения ВВЭР-СКД планируется довести уровень давления до 23,5÷25,0 МПа при выходной температуре теплоносителя 380÷540 °С. Такой путь развития водоохлаждаемых реакторов признан и в России [1], и в мире [2].

Повышение давления выше критического позволит:

- увеличить КПД в двухконтурной установке до 40÷41% (что подтверждается нашими расчетами и результатами исследования [3]), в одноконтурной – до 44±1% (в канадских проектах – до 48%) [4];

- при сравнимой мощности иметь гораздо меньший расход теплоносителя (по нашим оценкам, это может позволить снизить требуемую мощность ГЦН в двухконтурной установке почти в три раза);

- за счет резко меняющейся плотности в окрестности точки т.н. «псевдофазового перехода» осуществлять спектральное регулирование реактора и т.д.

При всем многообразии проектов ВВЭР-СКД рациональным представляется более подробное рассмотрение реактора с относительно невысокими параметрами теплоносителя (давление 23,5 МПа, температура 350/380 °С) и спектральным регулированием. В таких установ-

ках могут быть максимально использованы технические решения, уже отработанные на реакторах предыдущего поколения.

В последнее время все чаще поднимается вопрос об обеспечении участия АЭС в покрытии переменной части графика нагрузок, регулировании частоты сети и проч. Предполагается, что энергоблоки IV поколения должны обладать большей маневренностью, допускать многократное изменение мощности в больших пределах. Для того, чтобы оценить, будет ли обладать рассматриваемый реактор ВВЭР-СКД данными свойствами, в исследовании решаются следующие задачи:

- оценка влияния спектрального регулирования на нейтронно-физические и теплогидравлические характеристики реактора;
- построение статической характеристики на примере программы регулирования с постоянной средней температурой теплоносителя ($T_{cp} = const$) и оценка возможности работы в переменной части графика нагрузок.

В качестве исходных данных для расчетов были приняты следующие (табл.1):

Таблица 1 – Исходные данные для расчетов

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Давление (рабочее), МПа	23,5	Тепловая мощность реактора, МВт	1280
Температура на входе в реактор, °С:		Температура на выходе из реактора, °С:	
Начало кампании	365	Начало кампании	381
Конец кампании	345	Конец кампании	379
Тип топлива	UO ₂	Обогащение, %	3

Для оценки влияния спектрального регулирования на нейтронно-физические характеристики использовалось двухгрупповое приближение диффузионно-возрастной теории и результаты наших расчетов, выполненных ранее [5].

Было получено, что при изменении перепада температур теплоносителя с 365/381 °С до 345/379 °С дополнительно выделяется реактивность около 0,085 (8,5%). Начальный запас реактивности при обогащении 3% составляет 0,110; это означает, что практически половину времени кампании реактор может проработать только за счет изменения перепада температур (изменения спектра). При этом общий запас реактивности составит 0,195 (19,5%).

Оценка ухудшения коэффициента теплоотдачи от твэлов теплоносителю производилась с использованием формулы, полученной Б.Д. Дядякиным и А.С. Поповым [6]. Было получено, что при изменении перепада температур теплоносителя коэффициент теплоотдачи ухудшается не более, чем на 15% от изначального значения. При этом с

использованием расчетных формул, приведенных в исследовании [7], было показано, что расположение области ухудшенной теплоотдачи меняться не будет.

При построении статической характеристики было принято решение разбить общую задачу на две:

- построение зависимостей температуры, расхода теплоносителя первого контура и давления пара во втором контуре от уровня мощности в начале кампании;

- построение зависимостей этих же параметров от времени, прошедшего с начала кампании и совмещение результатов с характеристикой, полученной в первом пункте решения.

Была выбрана программа регулирования с постоянной средней температурой теплоносителя T_{cp} и переменным расходом. Преимущества работы водоохлаждаемого реактора с переменным расходом теплоносителя обоснованы в работе [8]. Был получен следующий вид статической характеристики (рис.1):

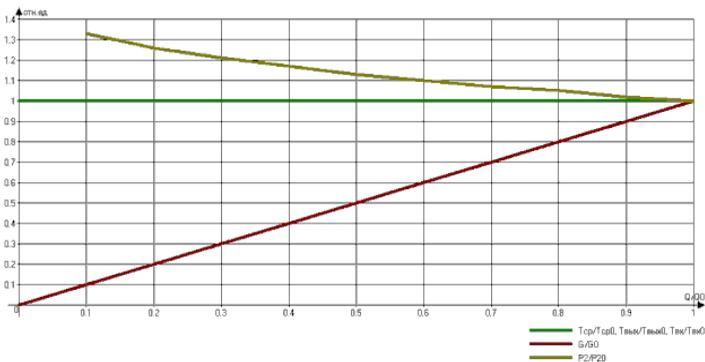


Рис.1. Статическая характеристика реактора в начале кампании

Рис.1 отражает и существенное преимущество выбранной программы регулирования (неизменность перепада температур теплоносителя – отсутствие «термических качков» при изменении мощности), и не менее существенный недостаток – возрастание давления второго контура (при разгрузке до $0,6N_{ном}$ давление увеличивается на 10% от изначального значения 15,0 МПа).

Принципиально возможны три варианта работы реактора в течение кампании при одном уровне мощности: первоначальная работа за счет поднятия компенсирующих стержней (КС), а затем за счет спектрального регулирования; первоначальная работа за счет спектрального ре-

гулирования, а затем за счет КС; постепенное использование обоих способов высвобождения реактивности.

Оценим возможность участия энергоблока в покрытии переменной части графика нагрузок, регулирования частоты сети и проч. с точки зрения прочностных характеристик реактора и элементов реакторной установки. При использовании рассматриваемой программы регулирования основным ограничивающим фактором является корпус прямого парогенератора, подвергающийся воздействию повышенного давления. Однако реально обеспечить некоторый запас циклической прочности при небольших изменениях мощности.

По результатам данного исследования могут быть сделаны следующие выводы:

- использование спектрального регулирования позволяет иметь дополнительный запас реактивности (8,5%), практически равный изначальному (11%); коэффициент теплоотдачи снижается менее чем на 15%, расположение области ухудшенной теплоотдачи не меняется;

- программа регулирования с постоянной средней температурой теплоносителя и переменным расходом позволяет избежать переменных термических напряжений в элементах реактора. Но на режимах пониженной мощности растет давление пара во втором контуре (по требованиям обеспечения прочности ПГ относительное изменение мощности ограничено 40% - т.е. разгрузка до $0,6N_{\text{ном}}$);

- при рассматриваемой программе регулирования участие энергоблока в покрытии переменной части графика нагрузок будет определяться преимущественно возможностями турбоустановки.

Библиографический список

1. **Энергетическая** стратегия России на период до 2030 года. – URL: <http://www.atominfo.ru/files/strateg/strateg.htm>
2. **Generation IV** Technology Roadmap. – URL: <http://gif.inel.gov/roadmap/>
3. **Тепловая** схема энергоблока АЭС с реактором, охлаждаемым водой сверхкритического давления / В.А. Силин, В.М. Зорин, А.М. Тагиров и др. // Теплоэнергетика, вып.№12, 2010.
4. **Абдулкадыров В.М.**, Богословская Г.П., Грабежная В.А. Термодинамические циклы АЭС, работающих на сверхкритических параметрах воды // Ядерная энергетика. Известия вузов, вып. №4, 2012. – с. 85-91.
5. **Лощаков И.И.**, Сироткина А.Л. Разработка реакторной установки ВВЭР-СКД со спектральным регулированием и петлевой компоновкой // Итоговая конференция конкурса научных работ студентов ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Знания молодых ядерщиков – атомным станциям». - М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – с.39-40
6. **Справочник** по теплогидравлическим расчетам. Том 1. Теплогидравлические процессы в ЯЭУ / П.Л. Кириллов, В.П. Бобков, А.В. Жуков, Ю.С. Юрьев– М.: ИздАт, 2010. – 776 с.

7. Курганов В.А. Теплообмен в трубах при сверхкритических давлениях теплоносителя: некоторые итоги научного исследования // доклад на Четвертой Российской конференции по теплообмену РНКТ-4, М., 2006 – URL: <http://www.rnkt.ru/2006/tom-1/page-74/>

8. Башарат Али. Повышение надежности и маневренности энергоблоков с водяными реакторами за счет регулирования расхода теплоносителя // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – СПб, 2002 – 141 с.

*М.Б. Виноградов, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ШАРИКОВОЙ ОЧИСТКИ ТРУБОК КОНДЕНСАТОРОВ ТУРБИНЫ К-1000-60/3000 КАК ОБЪЕКТ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОС

Реализован начальный этап разработки: назначение, функции, структура и принципиальная схема системы.

Ситовая установка, вмонтированная в выходной трубопровод охлаждающей воды, отделяет очищающие шарики от потока циркуляционной воды. Расположенный снаружи подшипниковый узел сит, снабженный механическим приводом, позволяет устанавливать сита в одно из положений, необходимое для заданного режима. Положение А: “ЭКСПЛУАТАЦИЯ”, когда сита перекрывают корпус ситовой установки поперек и отделяют циркулирующие шарики от потока охлаждающей воды. Положение Б: “ПРОМЫВКА”, когда через сита обратным ходом протекает охлаждающая вода, смывая накопившиеся на них загрязнения. В положении “ПРОМЫВКА” циркуляции шариков не происходит.

Система измерений разности давлений (система dp) путем непрерывного измерения разности давлений (dp) контролирует количество загрязнений, скопившихся на ситовой установке, и имеет две уставки: при достижении уставки 1 (65 мбар) СШО автоматически переводит шлюз загрузки-выгрузки шариков в положение “УЛАВЛИВАНИЕ”. По окончании заданного времени улавливания ситовая установка переводится в положение “ПРОМЫВКА” и промывается в течение 15 минут, а затем возвращается в режим очистки трубок; при достижении уставки 2 (80 мбар) автоматика начинает немедленную промывку ситового устройства, чтобы предотвратить его повреждение. При этом СШО отключается, на МЦУ загорается сигнал “АВАРИЯ”, и возвращения в режим очистки трубок не происходит.

Устройство возврата шариков включает в себя все компоненты для транспортировки, улавливания, замены очищающих шариков, насосного агрегата и шлюза для шариков. Насос отсасывает очищающие шарики из ситовой установки вместе с определенным количеством воды и транспортирует их к устройствам ввода шариков (впрыскам). Шлюз для шариков позволяет производить загрузку шариков, улавливание их в процессе работы СШО и выемку отработавших шариков. При разработке компьютерной обучающей системы (КОС) по данной технологической системе предполагается создание компьютерного учебного пособия (КУП) на основании [1,2] и локального ситуационного тренажера (ЛСТ), где будут отражены основные режимы нормальной эксплуатации данной технологической системы (подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт).

Библиографический список

1. **Инструкция** по эксплуатации системы шариковой очистки трубок конденсаторов турбины К-1000-60/3000. 03.УС.ПЭ.0039.44. Калининская АЭС.
2. **Эксплуатационные** схемы шариковой очистки конденсаторов турбины К-1000-60/3000. 03.УС.ЭС.0011.48. Калининская АЭС.

*М.Б. Виноградов, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПРЕДОЧИСТКИ КОНДЕНСАТОРОВ ТУРБИНЫ К-1000-60/3000 КАК ОБЪЕКТ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОС

Реализован начальный этап разработки: назначение, функции, структура и принципиальная схема системы.

Фильтры предочистки смонтированы непосредственно перед конденсаторами и непрерывно удаляют все макрозагрязнения из охлаждающей воды, которые в противном случае засорили бы трубные доски и трубки конденсаторов. Внутренняя поверхность корпуса фильтра гуммированная, для защиты от коррозии.

Фильтрующий элемент фильтра образован 12 фильтрокамерами, состоящими из сетки, изготовленной из нержавеющей стали, с отверстиями диаметром шесть миллиметров, выполненной в форме тупых полукруглей, что обеспечивает высокую жёсткость. Сегменты устанавливаются в стальных листах, которые ограничивают и образуют фильтрокамеры, и в нижней своей части имеют резиновые уплотняющие полосы, контактирующие с элементами колпака ротора обратной про-

мывки. Колпак ротора обратной промывки имеет размеры одного сегмента и при своем вращении последовательно перекрывает один сегмент за другим.

Сегменты фильтра очищаются в процессе обратной промывки посредством самой охлаждающей воды. Как только одна из фильтрующих камер перекрывается колпаком ротора, вода, прошедшая фильтр, смывает грязь в “РОТОР” и через трубопровод сброса мусора и открытый клапан сброса мусора удаляет загрязнения с сеток сегментов фильтра в сливной циркуляционный канал на выход охлаждающей воды из конденсаторов. Это происходит за счет перепада давления циркуляционной воды на входе в конденсаторы и на выходе из них.

Процесс промывки осуществляется в автоматическом режиме по импульсу от датчика перепада давления и при воздействии на соответствующие кнопки и ключи с контрольной панели управления. Один цикл обратной промывки длится 50 секунд, за это время ротор обратной промывки совершает 5 полных оборотов, при этом пропускная способность фильтра полностью восстанавливается.

Фильтр удаляет очень большие объемы загрязнений - от 13 до 32 м³/ч при расходе воды на промывку от 3% до 8% от общего расхода охлаждающей воды через фильтр на конденсатор.

Система измерения перепада давления на фильтре постоянно контролирует степень загрязнения фильтрующих элементов. При увеличении загрязнения сегментов фильтра повышается перепад давления, и при достижении перепада 140 миллибар фильтр должен быть промыт обратным ходом в режиме автоматики или дистанционно с контрольной панели.

При разработке компьютерной обучающей системы (КОС) по данной технологической системе предполагается создание компьютерного учебного пособия (КУП) на основании [1,2] и локального ситуационного тренажера (ЛСТ), где будут отражены основные режимы нормальной эксплуатации данной технологической системы (подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт).

Библиографический список

1. **Инструкция** по эксплуатации системы предочистки конденсаторов турбины К-1000-60/3000. 03.УС.ПЭ.0038.44. Калининская АЭС.
2. **Эксплуатационные** схемы трубопроводов циркуляционной воды. 03.УС.ЭС.0011.44. Калининская АЭС.

*Д.Н. Елагин, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА КОС ПО ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКЕ ЭНЕРГОБЛОКА №3 КАЛИНИНСКОЙ АЭС

Разрабатываемая компьютерная обучающая система (КОС) предназначена для получения знаний и умений по функционированию теплофикационной установки третьего энергоблока Калининской АЭС (Технологическая система УМ). КОС состоит из компьютерного учебного пособия (КУП), представляющего собой обучающую часть с тестовой частью контроля знаний и локального ситуационного тренажера по эксплуатации системы (ЛСТ), представляющего собой «блок навыков и умений». КУП разработан на основании первоисточников [1,2] и содержит вопросы для самоконтроля, а также раздел контроля знаний с таблицей результатов оценки знаний.

В данном материале наглядно представлена структура и принцип действия системы УМ, а также ее эксплуатация в основных нормальных режимах работы, а именно: подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт.

Система теплофикационной установки предназначена для подогрева сетевой воды и повышения экономичности энергоблока.

В состав системы теплофикационной установки входят:

- два сетевых насоса 3УМ11D01 и 3УМ12D01;
- два основных сетевых подогревателя I-степени 3УМ21W01 и 3УМ22W01;
- два основных сетевых подогревателя II-степени 3УМ21W02 и 3УМ22W02;
- два пиковых сетевых подогревателя 3УМ21W03 и 3УМ22W03;
- два конденсатных насоса 3РУ21D01 и 3РУ22D01;
- трубопроводы и арматура.

После изучения материала при помощи КУП обучаемый должен быть способен описать систему УМ и ее компоненты в соответствии с нормативной и эксплуатационной документацией, а также получить представление об эксплуатации системы в основных нормальных режимах работы, используя разработанный ЛСТ.

Библиографический список

1. **Инструкция** по эксплуатации теплофикационной установки. Энергоблок 1000 МВт. Блок №3. 03.УМ.ПЭ.0007.44. Калининская АЭС.

2. Эксплуатационные схемы системы теплофикационной установки 03.УМ.ЭС.0037.44. Калининская АЭС.

*А.О. Кочергин, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СИСТЕМА ЗАПОРНОЙ, РЕГУЛИРУЮЩЕЙ И ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ АРМАТУРЫ ЭНЕРГОБЛОКА № 3 КАЛИНИНСКОЙ АЭС КАК ОБЪЕКТ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОС

Арматура машзала предназначена для изменения режимов работы оборудования, отключения оборудования для ремонта, регулирования расхода и давления рабочей среды, а также защиты элементов оборудования от превышения давления и обратных потоков среды.

Арматура, устанавливаемая на трубопроводах, различается по следующим признакам: по способу управления; по функциональному назначению; по способу перекрытия потока рабочей среды; по способу присоединения к оборудованию; по конструктивному способу исполнения; по способу герметизации подвижного соединения шпинделя с крышкой. Арматура, классифицированная по способу управления, подразделяется на: управляемую (вручную или с использованием электропривода); действующую автоматически (обратные и предохранительные клапаны, регуляторы давления, конденсатоотводчики). По функциональному назначению энергетическая арматура разделяется на следующие основные виды: запорную, регулируемую, предохранительную и защитную.

Запорная арматура предназначена для полного перекрытия потока рабочей среды. К запорной арматуре относят пробно-спускную арматуру, используемую для проверки уровня жидкой среды в емкостях, отбора проб рабочей среды, для выпуска воздуха из верхних полостей оборудования, а также дренажи. Запорная арматура является арматурой двухпозиционного действия.

Регулирующая арматура служит для изменения расхода рабочей среды посредством изменения степени открытия регулирующего органа. В состав регулирующей арматуры входят: регулирующие клапаны, регулирующие вентили, дроссельные клапаны, предназначенные для значительного снижения давления пара и воды, работающие в условиях больших перепадов давления.

Предохранительная арматура служит для предотвращения аварий-

ного повышения давления в обслуживаемой (защищаемой) системе путем автоматического выпуска избыточного количества рабочей среды. К предохранительной арматуре относятся предохранительные клапаны, импульсные предохранительные и мембранные разрывные устройства. Защитная арматура предназначена для защиты оборудования от аварийных изменений параметра среды (давления, уровня рабочей среды, направления потока) путем отключения защищаемой линии или участка. К защитной арматуре относятся быстродействующие отсечные клапаны, задвижки, а также обратные клапаны. Различие между предохранительной и защитной арматурой заключается в том, что при возникновении аварийного значения параметра среды предохранительная арматура открывается для выпуска среды, а защитная отсекает защищаемый участок от части трубопровода.

При разработке компьютерной обучающей системы (КОС) по данной технологической системе предполагается создание компьютерного учебного пособия (КУП) на основании [1] и локального ситуационного тренажера (ЛСТ), где будут отражены основные режимы нормальной эксплуатации рассматриваемой системы (подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт).

Библиографический список

1. **Инструкция** по эксплуатации системы запорной, регулирующей и предохранительной арматуры энергоблока №3. 03.--ПЭ. 0023.44. Калининская АЭС.

*А.А. Капустин, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА КОС ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ СИСТЕМА ПОДАЧИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ НА СПЕЦКОРПУС, ХВО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000 С ПТУ К-1000-60/3000

Разрабатываемые компьютерные обучающие системы (КОС) предназначены для получения знаний и умений по функционированию системы подачи технической воды на спецкорпус и ХВО (система VB) и системы вспомогательной питательной воды энергоблока ВВЭР-1000 с ПТУ К-1000-60/3000 (система RL). КОС состоит из компьютерного учебного пособия (КУП), представляющего собой обучающую часть с тестовой частью контроля знаний и локального ситуационного

тренажера по эксплуатации системы (ЛСТ), представляющего собой «блок навыков и умений». КУП разработан на основании инструкции по эксплуатации [1,3] и содержит вопросы для самоконтроля, а также раздел контроля знаний с таблицей результатов оценки знаний.

В данном материале наглядно представлена структура и принцип действия систем VB и RL, а также ее эксплуатация в основных нормальных режимах работы, а именно: подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт.

Система подачи технической воды на спецкорпус и химводоочистку (ХВО) (ТС – VB30) предназначена для надежного и бесперебойного снабжения водой следующих потребителей энергоблока: спецкорпус; подпитка ответственных потребителей РО; ХВО; узел подпитки центральных материальных складов (ЦМС); хранилище твердых радиоактивных отходов (ХТРО).

В состав системы подачи технической воды на спецкорпус и ХВО (VB30) входят два насоса, всасывающая и напорная арматура, трубопроводы.

Вспомогательный питательный электрический насос (ВПЭН) предназначен для подачи питательной воды из деаэраторов 7 ата через систему трубопроводов питательной воды в парогенераторы в режимах пуска и расхолаживания блока, при аварийном отключении ТПН, снижении уровня питательной воды в парогенераторах до определенного предела от номинального. При пусках блока ВПЭН предназначен для деаэрации питательной воды в деаэраторах 7ата, предварительного заполнения, прогрева трубопроводов второго контура и проведения гидроиспытаний на рабочих параметрах.

После изучения материала при помощи КУП обучаемый должен быть способен описать системы VB и RL в соответствии с нормативной и эксплуатационной документацией, а также получить представление об эксплуатации систем в основных нормальных режимах работы, используя разработанный ЛСТ.

Библиографический список

1. **Инструкция** по эксплуатации системы подачи технической воды на спецкорпус и ХВО 03.VB.ПЭ.0036,44. Калининская АЭС.
2. **Эксплуатационные** схемы системы подачи технической воды на спецкорпус и ХВО 03.VB.ПЭ.0036,44. Калининская АЭС.
3. **Инструкция** по эксплуатации системы вспомогательной питательной воды 03.RL.ПЭ.0029.44. Калининская АЭС.
4. **Эксплуатационные** схемы системы вспомогательной питательной воды 03.RL.ПЭ.0029.44. Калининская АЭС.

*С.О. Смирнов, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА КОС ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ ДРЕНАЖНОГО БАКА, ДРЕНАЖНОЙ СИСТЕМЫ МАШЗАЛА И БНС ЭНЕРГОБЛОКА № 3 КАЛИНИНСКОЙ АЭС

Разрабатываемые компьютерные обучающие системы (КОС) предназначены для получения знаний и умений по функционированию технологической системы дренажного бака (система RT), дренажной системы машзала (система UL) и блочной насосной станции (БНС) (система VC) энергоблока № 3 Калининской АЭС. Каждая КОС состоит из компьютерного учебного пособия (КУП), представляющего собой обучающую часть с тестовой частью контроля знаний и локального ситуационного тренажера по эксплуатации системы (ЛСТ), представляющего собой «блок навыков и умений». КУП разработан на основании первоисточников [1, 2, 3, 4] и содержит вопросы для самоконтроля, а также раздел контроля знаний с таблицей результатов оценки знаний.

В данных материалах наглядно представлены структура и принцип действия систем UL, RT и VC, а также их эксплуатация в основных нормальных режимах работы, а именно: подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт.

Дренажная система машзала энергоблока № 3 предназначена для откачки воды из дренажных приемков машзала энергоблока № 3. Дренажная система БНС (система VC) предназначена для откачки воды из дренажных приемков и аванкамер БНС. В состав дренажной системы входят: три дренажных насоса 3UL10D(09,10,11), типа 1B20/5-16/5; три дренажных насоса 3VC30D(01,02,03), типа K-160/20; трубопроводы и арматура.

Система дренажного бака предназначена для сбора дренажей высокого и низкого давления энергоблока № 3 Калининской АЭС. Система состоит из расширителей дренажей 3RT10B(01,02), расширителя пусковых дренажей 3RT20B01, сепаратора влаги II отбора 3RD20B01, дренажного бака 3RT30B(01,02), дренажных насосов 3RT(41,43)D01, трубопроводов и арматуры дренажей высокого и низкого давления, охладителя выпара 3RT10W01.

Дренажная система машзала и система дренажного бака связаны с другими системами турбинного и реакторного отделений.

После изучения материалов при помощи КУП обучаемый должен быть способен описать системы UL и RT и их компоненты в соответствии с нормативной и эксплуатационной документацией, а также получить представление об эксплуатации систем в основных нормальных режимах работы, используя разработанный ЛСТ.

Библиографический список

1. **Инструкция** по эксплуатации дренажной системы машзала энергоблока № 3 и БНС-3, 03.VL.ПЭ.0019.44. Калининская АЭС
2. **Эксплуатационные** схемы системы машзала энергоблока № 3 и БНС-3, 3VL.ЭС.0040.44. Калининская АЭС.
3. **Инструкция** по эксплуатации системы дренажного бака блока № 3, 03.RT.ПЭ.0006.44. Калининская АЭС.
4. **Эксплуатационные** схемы системы дренажного бака блока № 3, 03.RT.ЭС.0033.44. Калининская АЭС.

*А.О. Кочергин, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РАСХОЛАЖИВАНИЯ ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000 С ПТУ К-1000-60/3000 ЧЕРЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНДЕНСАТОР (ТК) КАК ОБЪЕКТ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОС

Реализован начальный этап разработки: назначение, функции, структура и принципиальная схема системы.

Система технологического конденсатора предназначена для проведения расхолаживания энергоблока в режиме планового или аварийного останова, а также для поддержания блока в состоянии горячего резерва.

При плановом расхолаживании или поддержании блока в горячем резерве отвод тепла от ПГ производится сбросом пара через БРУ-К в конденсаторы турбины. БРУ-К при этом управляются либо регулятором расхолаживания в соответствии с заданной программой, либо дистанционно оперативным персоналом. При запретах по сбросу пара через БРУ-К в конденсаторы турбины (потеря вакуума, низкое давление на впрыске охлаждающего конденсата, останов ВПУ и др.) используется расхолаживание через ТК. Аварийное расхолаживание сбросом пара из главных паропроводов через БРУ-А в атмосферу про-

водится в случаях обесточивания блока или в других аварийных ситуациях, налагающих запрет на сброс пара через БРУ-К и БРУ-СН. В режиме расхолаживания или поддержания блока в горячем резерве участвуют следующие системы и оборудование машзала: система главных паропроводов с четырьмя БРУ-К и двумя БРУ-СН; ТК; сбросные трубопроводы, запорная арматура, регулирующие клапаны; вакуумная (конденсационная) система главной турбины; система основного конденсата; деаэрационно-питательная установка; система технической воды группы “В”.

ТК представляет собой однокорпусной вертикальный теплообменник с поверхностью теплообмена 633 м², выполненный в виде трубного пучка из нержавеющей стали. Допустимая скорость прогрева и охлаждения стенок конденсатора – не выше 60 °С/ч.

Подвод пара в ТК осуществляется от КСН трубопроводом Ду-800, отвод конденсата – трубопроводом Ду-200 в линию основного конденсата перед Д-7 или в дренажный бак. Расхолаживание или поддержание блока в горячем резерве при использовании ТК осуществляется путем конденсации сбрасываемого из КСН пара в ТК за счет охлаждения его технической водой, подаваемой насосами группы “В”. Регулирование расхода пара при расхолаживании производится изменением расхода конденсата регулирующим клапаном, установленным на линии сброса конденсата ТК в Д-7 или в дренажный бак. Управление регулирующим клапаном осуществляется либо дистанционно с БПУ, либо автоматически регулятором расхолаживания блока. При этом за счет изменения уровня поверхность конденсации изменяется (вследствие затопления части трубок) в соответствии с заданной программой расхолаживания.

При разработке компьютерной обучающей системы (КОС) по данной технологической системе предполагается создание компьютерного учебного пособия (КУП) на основании [1,2] и локального ситуационного тренажера (ЛСТ), где будут отражены основные режимы нормальной эксплуатации данной технологической системы (подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт).

Библиографический список

1. **Инструкция** по эксплуатации системы расхолаживания блока через технологический конденсатор 03.RR.ПЭ. 0020.44. Калининская АЭС.
2. **Эксплуатационные** схемы системы расхолаживания, 03.RR.ЭС.0031. 44. Калининская АЭС.

*Д.Е. Кирсанов, студ.; рук. С.Г. Андрианов, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СЛИВА СЕПАРАТА 2-ГО БЛОКА КАЛИНИНСКОЙ АЭС

Существующая схема предполагает слив сепарата СПП – 1,2,3,4 через сепарато-сборники №№1,2,3,4 без сохранения уровня напрямую в ПНД-4. Изначально по проекту слив сепарата должен быть организован насосами СС через регулятор в линию основного конденсата после ПНД-4 в деаэратор. Из-за сложного регулирования расхода в четырёх сепарато-сборников одним регулятором уровня на напоре насосов схема не нашла применения.

Преимущество существующей схемы в простоте её эксплуатации т.к. работает без элементов, снижающих её надёжность (насосы, регуляторы).

Недостатки существующей схемы:

- непроектный режим работы ПНД-3,4, из-за дополнительного сброса высокопотенциального потока сепарата СПП, что снижает надёжность их элементов (разрушение внутрикорпусных устройств);
- неэффективное использование тепла сепарата СПП;
- невозможность вывода в ремонт ПНД-4 без останова блока;
- вытеснение 4-го (ПНД-4) и 5-го (ПНД-3) отборов пара высокопотенциальным потоком слива сепарата и конденсата ПВД-5;
- работа 2-х сливных насосов ПНД-3 из 3-х в связи с большим суммарным расходом сепарата и конденсата ПНД-4, ПВД-5;

Модернизация сепарато-сборников заключается в установке общего сепарато-сборника для восстановления работоспособности схемы слива сепарата насосами СС в линию основного конденсата за ПНД-4 в Д-7 с сохранением работоспособности существующей схемы слива сепарата в ПНД-4;

Преимущества модернизированной проектной схемы:

- повышение надёжности работы ПНД-3,4 и энергоблока в целом;
- возможность вывода в ремонт ПНД-4 без останова блока;
- снижение затрат на ремонт ПНД-3,4;
- эффективное использование тепла сепарата СПП;
- эффективная работа 4 и 5 отборов пара турбины;
- в перспективе возможно исключение ПВД-5 из тепловой схемы.

Для повышения надёжности и мобильности модернизированной схемы, необходимо установить регуливающую арматуру за насосами

слива сепарата. При снижении уровня в конденсаторосборнике или снижении давления на напоре насоса, будет производиться переключение схемы сброса сепарата напрямую в ПНД-4.

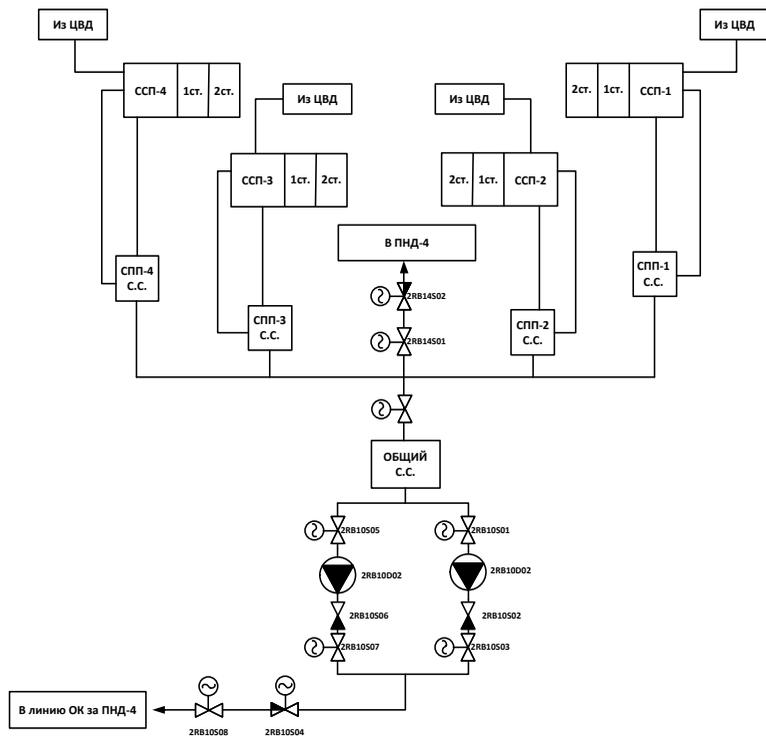


Рис.1. Модернизированная схема с общим сепаратосборником

КПД ЭБ при существующей схеме слива сепарата получился равен 33,743%. При этом мощность выработанная 5 и 4-м отбором соответственно равна 50,213 и 14,864 МВт. КПД ЭБ после модернизации увеличился до величины 33,799%. При этом мощность 4 отбора увеличилась до 18,324 МВт, что на 3,46 МВт больше при существующей схеме.

Следует отметить, что при новой схеме будет работать 1 сливной насос ПНД-3. Это соответствует режиму нормальной эксплуатации.

*С.А. Щепин, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СИСТЕМА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ ОБОРУДОВАНИЯ ПТУ К-1000-60/3000 КАК ОБЪЕКТ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОС

Реализован начальный этап разработки: назначение, функции, структура и принципиальная схема системы.

Высокий уровень автоматизации технологических процессов и технологических защит и блокировок турбинного оборудования предполагает отсутствие вмешательства в работу автоматических устройств во время аварии. В то же время, персонал обязан представлять ход развития аварии и логику действия автоматики для осуществления контроля и своевременного принятия управления на себя в случае отказа автоматических устройств.

При возникновении аварии оперативный персонал должен немедленно принять меры к ее ликвидации и сообщить о ней НС ТЦ. НС ТЦ немедленно посылает на место аварии СМТО для уточнения обстановки или определяет ее сам и извещает НС АС (ЗНСО АС), начальника ТЦ или его заместителя.

Оперативным руководителем по ликвидации аварии в цехе, не угрожающей выходом из строя оборудования и не нарушающей технологический процесс работы блока в целом, является НС ТЦ.

Оперативным руководителем при ликвидации аварии, могущей привести к выходу из строя основного оборудования или нарушению технологического процесса в целом, является НС АС.

Во время ликвидации аварий сменный персонал ТЦ и сменный персонал других цехов должен находиться на своем рабочем месте, независимо от того, на каком участке создалось аварийное положение, усилить наблюдение за показаниями КИП и работой оборудования, контролировать срабатывание защит и блокировок, не вмешиваясь в их работу. В случае отказа срабатывания защит и блокировок выполнить необходимые операции дистанционно или по месту. Отключать защиты в аварийной ситуации запрещается.

Покидать рабочее место разрешается: по распоряжению оперативного руководителя по ликвидации аварии; при опасности для жизни; для оказания первой помощи пострадавшему при несчастном случае.

Присутствие лиц в ТО, не участвующих в ликвидации аварии, воспрещается. Лица, не входящие в состав вахты, но имеющие право присутствовать в ТО при аварийном положении, не имеют права, незави-

симо от их служебного положения, отвлекать оперативный персонал разговорами или расспросами.

При возникновении аварии дежурный персонал обязан: на основании показаний КИП и по внешним признакам работы оборудования составить общее представление о том, что и где произошло; немедленно принять меры по устранению опасности для людей и оборудования вплоть до отключения последнего, в остальных случаях принять меры по восстановлению нормальной работы оборудования; отметить характер и места повреждения; на каждом этапе ликвидации аварии докладывать непосредственному начальнику о результатах своих действий, по возможности немедленно, не дожидаясь опроса; действовать быстро и точно, но без торопливости, помня, что поспешное необдуманное действие может только усугубить развитие аварии.

При разработке компьютерной обучающей системы (КОС) по данной технологической системе предполагается создание компьютерного учебного пособия (КУП) на основании [1].

Библиографический список

1. *Эксплуатационная* инструкция по предупреждению и ликвидации аварий оборудования ПТУ К-1000-60/3000. 03.СА.ПЭ. 0026.44. Калининская АЭС.

*С.А. Щепин, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ГИДРОИСПЫТАНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ПТУ К-1000-60/3000 КАК ОБЪЕКТ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОС

Реализован начальный этап разработки: назначение, функции, структура и принципиальная схема системы.

Система гидроиспытаний предназначена для обеспечения проверки на плотность и прочность элементов трубопроводов и оборудования машзала после монтажа или ремонта, а также во время технического освидетельствования на параметры, оговоренные в рабочих программах.

В состав системы гидроиспытаний трубопроводов и оборудования второго контура входят: трехплунжерный кривошипный насос, приводимый в действие электродвигателем через клиноременную передачу; предохранительный пружинный клапан, защищающий обо-

дование от недопустимого превышения в нем давления при проведении гидравлических испытаний; регулирующий дроссельный клапан ручного действия, обеспечивающий требуемое программами гидроиспытаний пробное давление в системах и оборудовании второго контура; трубопроводы и запорные дренажные вентили.

При разработке компьютерной обучающей системы (КОС) по данной технологической системе предполагается создание компьютерного учебного пособия (КУП) на основании [1,2] и локального ситуационного тренажера (ЛСТ), где будут отражены основные режимы нормальной эксплуатации данной технологической системы (подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт).

Библиографический список

1. **Инструкция** по эксплуатации системы гидроиспытаний трубопроводов и оборудования ПТУ К-1000-60/3000. 03.УЕ.ПЭ. 0024.44. Калининская АЭС.
2. **Эксплуатационные** схемы системы гидроиспытания оборудования и трубопроводов. 03.УЕ.ЭС.0041. 44. Калининская АЭС.

*Р.Р. Шакиров, М.Н. Мечтаева, студенты;
рук. В.К. Семенов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ КИНЕТИКИ ХОЛОДНОГО РЕАКТОРА МЕТОДОМ ГАЛЕРКИНА

Точное аналитическое решение уравнений кинетики холодного реактора возможно только при простых законах ввода реактивности реактора – скачком или при линейном росте. В других случаях точных аналитических решений не существует, и задача может быть решена только численно. При всех достоинствах численных методов они не позволяют в полной мере проанализировать полученные решения, так что часто требуется найти пусть и приближенное, но аналитическое решение. В качестве метода нахождения приближенного аналитического решения мы использовали широко известный в технической физике метод Галеркина [1]. Искусство применения метода Галеркина заключается в предварительном угадывании характера решения дифференциального уравнения на основе его качественного анализа. Далее решение задачи представляется в виде суммы подходящих функций, удовлетворяющих начальным или краевым условиям с неизвестными коэффициентами. Испытуемое решение подставляется в дифференци-

альное уравнение и определяется соответствующая невязка. Для нахождения неизвестных коэффициентов используются условия перпендикулярности невязки каждой из названных выше функций. Метод Галеркина находит обоснование в теории общих рядов Фурье, однако вопрос о точности полученного решения в общем случае остается открытым.

Нами рассмотрено решение уравнений кинетики реактора в одногрупповом приближении при различных законах ввода реактивности реактора и произведена оценка полученных решений, как на основе точных аналитических решений, так и на основе численного интегрирования.

Библиографический список

2. Канторович Л.В., Крылов В.И. Приближенные методы высшего анализа. М: Физматгиз. 1962.

3. Семенов В.К. Кинетика и регулирование ядерных реакторов. Иваново: ИГЭУ. 2009.

*А.А. Теремов, инж., рук. С.Г. Андрианов, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТУРБОУСТАНОВКИ К-500-65 СМОЛЕНСКОЙ АЭС

В настоящее время концерном «Росэнергоатом» реализуется программа по увеличению выработки электроэнергии на действующих АЭС. Программа концерна заключается в повышении надежности и эффективности систем сепарации пара турбоустановок АЭС и увеличении мощности энергоблоков.

Поэтому в дипломной работе рассмотрены вопросы модернизации системы сепарации пара СПП-500-1 и замены двух последних ступеней ЦНД турбоустановки К-500-65 Смоленской АЭС.

Сепараторы пароперегреватели необходимы для удаления из пара влаги и повышения температуры рабочего тела. На Смоленской АЭС установлены отечественные сепараторы пароперегреватели СПП-500-1. Неэффективность их работы выражается в недопустимо высоком проносе влаги. Повышенная влажность пара после сепаратора приводит к нарушению работы промперегревателей, уменьшению электрической мощности. В результате требуются значительные затраты на ремонт и имеет место недовыработка электроэнергии из-за разгрузок и простоев турбоустановки.

С целью повышения надежности и эффективности системы сепарации пара были предложены следующие решения:

1. Полная замена внутренних элементов сепаратора, с установкой новых сепарационных блоков Powervane, немецкой фирмы Балке-Дюрер.

2. Установка циклонного предсепаратора Powersept, немецкой фирмы Балке-Дюрер, непосредственно перед СПП.

Гидравлический расчет сепаратора, модернизированного по первому варианту, показал, что гидравлическое сопротивление увеличится на 970 Па, то есть на 6% от суммарного гидравлического сопротивления аппарата. Что практически не скажется на экономичности работы турбоустановки. Степень сухости пара на выходе из сепаратора составила 0,998 %.

Расчет второго варианта дал следующие результаты: влажность пара на выходе из предсепаратора 2,05% , величина гидравлического сопротивления составила 4200 Па, будут иметь место потери давления.

Следующая модернизация, проводимая на турбоустановке, заключается в замене двух последних ступеней ЦНД. Причем роторы, корпуса ЦНД сохраняются старые, увеличиваются только размеры 4 и 5 ступени.

Подробный расчет проточной части ЦНД показал, что прирост мощности на одну турбоустановку составил 10,5 МВт. Поскольку увеличение расхода пара через турбину не предусматривалось, то, как показал анализ подробного расчета, причина увеличения мощности заключается в уменьшении потерь с выходной скоростью.

В рамках дипломной работы проводился расчет тепловой схемы турбоустановки К-500-65/3000 с различными вариантами модернизации.

1. Расчет базовой схемы.

2. Расчет схемы с модернизированным ЦНД и установленными сепарационными блоками Powervane в СПП-500-1.

3. Расчет схемы с модернизированным ЦНД и установленным предсепаратором Powersept перед СПП-500-1.

Таблица 1 - Результаты расчета тепловой экономичности

Варианты схем	Электрический КПД «нетто»,%	Электрическая мощность «нетто», МВт
Базовая схема	31,05	496,7
Схема с Powervane	31,55	504,8
Схема с Powersept	31,8	509,2

Как видно из проведенных расчетов наилучший результат получен от схемы с третьим вариантом модернизации. Несмотря на лучшие

показатели третьего варианта, следует выбрать второй вариант, по следующим причинам:

1. С установкой Powersept требуется большой объем монтажных и демонтажных работ.

2. Большая стоимость монтажа.

3. С установкой блоков Powervane практически не меняется схема трубопроводов.

4. Сепаратор СПП-500-1, с установленными блоками Powervane, более ремонтпригоден, чем предсепаратор Powersept.

Ежегодная экономическая прибыль от проведения модернизации, по второму варианту, составляет 22,3 млн. руб.

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

МОДУЛЬНЫЙ ГАЗОТУРБИННЫЙ ЭНЕРГОБЛОК МОЩНОСТЬЮ 100 МВт НА БАЗЕ ВТГР

Конструкция ВТГР-100 основана на конструкции реакторов АGR и ТНTR-300 (ФРГ). Реактор – модульный с активной зоной, состоящей из шестигранных призматических ТВС, с гелиевым теплоносителем, обладающий свойствами внутренней самозащищенности. Безопасность обеспечивается за счёт использования пассивных систем аварийного охлаждения реактора. Остаточные тепловыделения и аккумулированное тепло отводятся от активной зоны через корпус реактора к системе охлаждения шахты реактора и, далее, в атмосферу. При этом используются естественные физические процессы (теплопроводность, излучение, конвекция) без превышения пределов безопасной эксплуатации топлива, в том числе и в авариях с полной потерей теплоносителя первого контура, при отказе всех активных средств циркуляции и источников энергоснабжения. Циркуляция теплоносителя в петлях первого контура осуществляется главной циркуляционной газодувкой (ГЦГ) или компрессорами турбомшины АГТУ.

Компоновка выполнена с учетом требований безопасной эксплуатации реакторной установки при всех возможных на АЭС авариях. Каждая реакторная установка (РУ) размещается в главном здании АЭС, состоящем из наземной части (здание техобслуживания и перегрузки реактора, он же носит название центральный зал) и подземного контейнента (защитной оболочки РУ) низкого давления, расположенного под центральным залом.

Реактор может эксплуатироваться в двух режимах: только производства электроэнергии и в комбинированном режиме производства электроэнергии и коммунального теплоснабжения за счет утилизации сбросного тепла.

На рис.1 изображена принципиальная тепловая схема энергоблока АГТУ-100, предназначенного для производства электроэнергии.

Как видно из представленной схемы, АГТУ работает по замкнутому регенеративному циклу.

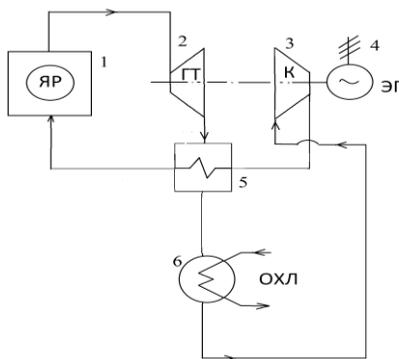


Рис.1. Принципиальная схема АГТУ-100: 1 – реактор; 2 – газовая турбина; 3 – компрессор; 4 – электрогенератор; 5 – регенеративный теплообменник; 6 – конечный охладитель

В ходе анализа тепловой экономичности регенеративного цикла АГТУ варьировались степень регенерации σ_p и степень повышения давления в компрессоре π_k при постоянной начальной температуре гелия перед турбиной 1200°C . Температура гелия перед компрессором принята равной 60°C .

При проведении расчетов учитывались потери давления в реакторе, регенераторе и охладителях. Для простого цикла (без регенерации) оптимальная степень повышения давления в компрессоре находится в пределах 8 – 10, при значении внутреннего КПД цикла η , около 36 %.

Применение регенерации позволяет существенно повысить тепловую экономичность АГТУ. В ходе расчетов было выявлено, что при значениях $\pi_k > 6$ регенеративный цикл осуществлен быть не может, так как температура за газовой турбиной становится ниже, чем температура на выходе из компрессора. При этом с повышением степени регенерации оптимальное значение π_k снижается и при предельной регене-

рации ($\sigma_p = 1$) она составляет примерно 2,5. При этом достигается значение $\eta_i = 48,5$ %. С целью дальнейшего повышения экономичности целесообразно использовать двухступенчатое сжатие с промежуточным охлаждением гелия перед компрессором второй ступени. Как показали предварительные оценки, в этом случае внутренний КПД превысит значение 50%.

Однако, как применение регенерации, так и применение двухступенчатого сжатия усложняют и удорожают технологическую схему энергоблока АГТУ. Поэтому выбор оптимального варианта может быть корректно сделан только на основании технико-экономических расчетов.

Вместо конечного охладителя технической водой могут быть использованы теплообменники, в которых будет нагреваться сетевая вода для целей отопления и горячего теплоснабжения. В этом случае за счет комбинированного способа производства электрической и тепловой энергии может быть существенно увеличен КПД по выработке электроэнергии.

При электрической мощности энергоблока 100 МВт и степени регенерации $\sigma_p = 0,95$ ($\pi_k = 2,5$), КПД по выработке электроэнергии составляет 46,6 %. Тепловая мощность реактора составляет $Q_p = 207,5$ МВт, расход гелия 107,9 кг/с.

Таким образом, технология модульных ВТГР, благодаря уникальным свойствам по эффективности, безопасности и экологичности, может обеспечить комплексное энергоснабжение электричеством и теплом населения и промышленные предприятия. Высокая температура гелия на выходе из реактора делает возможным энергоснабжение высокотемпературным теплом таких производств как металлургия, нефтехимия, производство водорода.

*А.Ф. Тарасова, А.Е. Иванова, студенты;
рук. А.Г. Ильченко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕАКТОРЫ МАЛОЙ МОЩНОСТИ – ИННОВАЦИОННЫЙ ПУТЬ РАЗВИТИЯ

Прогнозируемый в перспективе значительный рост мировых потребностей в энергии сопровождается истощением дешевых ресурсов углеводородного топлива и достижением опасных пределов загрязнения атмосферы продуктами горения химических топлив. Это вызывает

необходимость развития атомной промышленности и альтернативных источников электроэнергии.

Кроме того, значительная часть территории России относится к региону Севера и Дальнего Востока, занимающим более 60% её общей площади. В основном осуществляется децентрализованное энергообеспечение потребителей, а отдельные локальные потребности в электрической и тепловой энергии не превышают 100-250 МВт. В целях решения данной проблемы возникает необходимость использования инновационных ядерных технологий и разработки проектов энергоблоков атомных станций с реакторами малой мощности (АСММ).

Основные решаемые проблемы:

- обеспечение энергетической безопасности удаленных труднодоступных территорий РФ, энергообеспечение населенных пунктов и объектов промышленности стратегического значения;
- сокращение объемов северного завоза органического топлива;
- повышение качества жизни населения и создание условий для социально-экономического развития удаленных регионов;
- создание новых рабочих мест.

В течение последних десятилетий были выполнены многочисленные проектные проработки АСММ, а также проведены технико-экономические исследования по определению роли и масштабов использования АСММ в зоне Севера. Имеются также достаточно многочисленные инженерные предложения и концептуальные проработки ядерных реакторов для атомных станций малой мощности, в том числе КЛТ-40С, АБВ-6М, БРЕСТ-300, ВБЭР-300, СВБР-100, МГР-100, УНИТЕРМ и др.

Первым представим концепцию быстрого реактора со свинцово-висмутовым теплоносителем СВБР-100..

Данный реактор, имея избыток нейтронов деления, как и в любом БР, позволяет конвертировать ^{238}U в ^{239}Pu с коэффициентом воспроизводства $KV > 1$. Использование в СВБР-100 в качестве теплоносителя эвтектики свинец-висмут не требует высокого давления в первом контуре. Свойства теплоносителя и топлива позволяют работать при малом и стабильном запасе реактивности, исключить аварии с неконтролируемым ростом мощности, разрушением топлива и выбросом радиоактивности.

Основные отличительные особенности РУ СВБР-100:

- Реактор на быстрых нейтронах в модульном исполнении;;
- Интегральная компоновка первого контура;

- Возможность использования различных видов ядерного топлива;
- Длительная работа без перегрузки топлива (от 7 до 15 лет);
- Возможность работы в замкнутом ядерном топливном цикле;
- Возможность многоцелевого применения – производство электрической и тепловой энергии, опреснение, использование в составе энерготехнологических комплексов.

Технические характеристики:

Мощность тепловая (номинальная), МВт	280
Электрическая мощность (брутто), МВт	101,5
Паропроизводительность, т/ч	580
Давление генерируемого пара, МПа	9,2
Температура генерируемого пара, °С	400
Температура свинцово-висмутового теплоносителя, вх./вых. °С	345/495
Топливо (тип/обогащение)	UO ₂ /16,5

Ожидаемая экономическая конкурентоспособность реакторной установки типа СВБР-100 обеспечивается за счет упрощения конструкции реактора и систем безопасности АЭС, высокой эффективности использования ядерного топлива и производимого тепла. Высокая теплоемкость свинцового контура и большой температурный запас до кипения теплоносителя (>1200°С) исключают паровой взрыв. Исключение в реакторной установке СВБР-100 опасных для населения и окружающей среды аварий не за счет создания дорогостоящих инженерных средств и систем защиты, а благодаря сочетанию внутренне присущих реактору свойств безопасности позволит гармонизировать проблему безопасности с экономичностью.

Следующим представим реактор КЛТ-40С. В основу решения РУ положен опыт проектирования и многолетней эксплуатации в тяжелых ледовых условиях Севера российских атомных судов с аналогичными установками. Учен отечественный и международный опыт и тенденции повышения безопасности ядерных энергетических установок.

Основные технические характеристики РУ КЛТ-40С:

тип установки – блочная с водо-водяным реактором корпусного типа;

тепловая мощность реактора – до 180 МВт;

циркуляция теплоносителя первого контура – принудительная; в режиме аварийного расхолаживания используется естественная циркуляция;

температура пара – до 300 °С;

давление пара – до 4 МПа;

максимальная паропроизводительность – до 260 т/час.

Основное оборудование аналогичных РУ имеет наработку до 140 тыс. часов.

В настоящее время в России разработан проект АТЭС на базе плавучего энергоблока с РУ КЛТ-40С. На ПЭБ установлены две РУ. На базе проектов плавучих энергоблоков с РУ КЛТ-40С разработан ряд концептуальных проектов энергопреснительных комплексов двойного назначения – для получения электроэнергии и пресной воды. Высокая надежность КЛТ-40С достигнута за счет компоновки основного оборудования, в которой реактор, парогенераторы и насосы первого контура объединены в компактный парогенерирующий блок. Минимальное влияние на экосистему при строительстве и экологическая чистота при эксплуатации, а также высокая конкурентоспособность по технико-экономическим показателям с альтернативными источниками сравнимой мощности – важные аргументы в пользу реализации проекта КЛТ-40.

Следующим представим реактор АБВ-6М. Реактор АБВ-6М – водородной реактор интегрального типа с естественной циркуляцией теплоносителя первого контура и со встроенной парогазовой системой компенсации. Основное оборудование АБВ-6М скомпоновано на баке металло-водной защиты в единый парогенерирующий блок.

Обогащение топлива составляет менее 20%. Перегрузка реактора требуется раз в 12 лет. Надёжность принятых технических решений подтверждена опытом эксплуатации транспортных установок.

Реакторная установка АБВ-6М при использовании в качестве топлива диоксида урана, пленок диборида циркония и твэлов с естественными долями изотопов гадолиния (в основном в центральной зоне реактора), имеет следующие параметры топливного цикла:

-кампания реактора составляет 2450 суток (коэффициент использования мощности 0,8);

-максимальный запас реактивности в рабочем состоянии требующий компенсации ОР СУЗ равняется 3 %;

-коэффициент неравномерности мощности кассет по кампании реактора не превышает 1,4.

В настоящее время разработан проект АТЭС на базе плавучего энергоблока с РУ АБВ-6М. Технические решения, положенные в основу проекта, обеспечивают высокий уровень экологической безопасности станции в течение всего эксплуатационного периода.

Внедрение объектов малой ядерной энергетики индустриального производства – АСММ – целесообразно. Оно затрагивает интересы субъектов многих отраслей народного хозяйства, государственных структур. К ним относятся хозяйственные инфраструктуры средних и малых городов и поселков, объекты связи различного назначения, береговые объекты водных коммуникаций, объекты разведки и добычи ископаемых, объекты транспорта, лесопромышленности и сельского хозяйства и др.

Высокотемпературный газоохлаждаемый реактор с гелиевым теплоносителем МГР-100 предназначен для электро-и теплоснабжения, а также может использоваться для снабжения высокотемпературным теплом таких производств как металлургия, нефтехимия, производство водорода и др. Высокая температура гелия на выходе из реактора (до 1000 °С) позволяет использовать высокоэкономичный замкнутый газотурбинный цикл (с электрическим КПД до 47 %).

Реактор имеет модульную конструкцию с применением пассивных средств безопасности, что обеспечивает высокую степень надежности и безопасности реакторной установки.

Основные характеристики:

тепловая мощность – 215 МВт;

давление на входе в реактор – 4,9 МПа;

температура на входе/выходе – 558/850(950) °С;

замедлитель – графит;

обогащение топлива – до 20 %.

Анализ проектов и разработок показывает реальность создания АТЭС (плавающей или наземной), конкурентоспособной станциям на органическом топливе при достижении высокой внутренней безопасности, увеличении срока службы, времени между перегрузками топлива, уровня заводской готовности блока, снижения численности персонала, затрат на снятие с эксплуатации.

СЕКЦИЯ 10

ТЕПЛООБМЕН В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВКАХ

*Председатель – к.т.н., доцент В.Ю. Пронин
Секретарь – студ. М.С. Цветкова*

*Д.Ю. Богачёва, асп., А.В. Прохоров, студ.;
рук. А. А. Козлов, д.т.н., проф.
(МАИ, г. Москва)*

ПРОЦЕСС СБОРА И АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ЖРД МТ

При испытаниях жидкостных ракетных двигателей всегда существует проблема трудоемкости и сложности контроля получаемой информации. Неотъемлемой частью этого процесса является проведение многочисленных огневых испытаний разрабатываемого ЖРД МТ на специализированном программно-аппаратном комплексе.

Задача выявления основных характеристик разрабатываемого ЖРД МТ является одной из основных при создании испытательного программно-аппаратного комплекса. Для решения поставленной задачи необходимо создание механизма измерения широкого класса параметров, характеризующих работу двигателя, функционирования различных управляющих и обслуживающих двигатель систем. Это приводит к необходимости измерения и контроля в процессе испытания ЖРД МТ большого количества физических величин. Фиксирование такого многочисленного числа параметров в незначительные отрезки времени, определяемые продолжительностью испытаний двигателей, возможны только путём автоматизации процесса их измерения, контроля и регистрации.

Решением этой задачи при испытаниях экспериментальных ЖРД МТ послужило использование модулей КОНТРОН и NI-SCXI-1000 и разработка программного обеспечения в среде программирования SCADA INTOUCH и LabView (рис. 1).

Был сделан выбор измерительных модулей и компонентов, разработаны общая архитектура системы, ее основных модулей и программного обеспечения. Разработанная система является модульной,

что обеспечивает гибкое изменение параметров экспериментов при испытании различных типов ЖРД МТ.

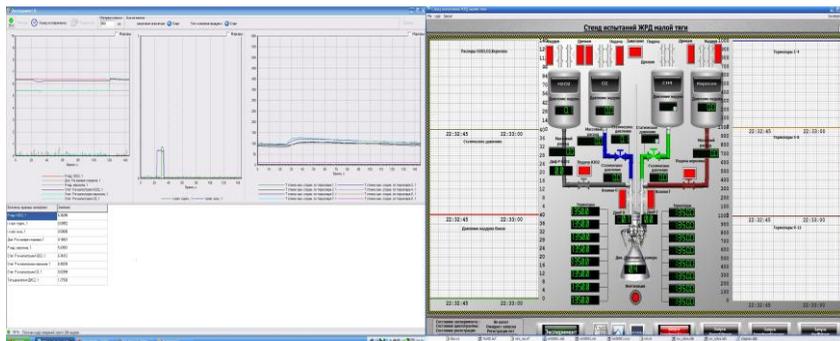


Рис. 1. Вид рабочих окон программы SCADA INTOUCH

Измерительная подсистема включает в себя:

- блоки измерения давления окислителя и горючего на входе в двигатель,
- измерения расхода горючего и окислителя,
- блоки измерения перепада давления на расходной шайбе окислителя, давление наддува горючего, давления в камере сгорания,
- блоки измерения температуры магистрали и измерения температуры стенки камеры сгорания,

Программное обеспечение системы испытания ЖРД можно разделить на два уровня верхний и нижний. На верхнем уровне функционирует подсистема сбора, оперативного отображения информации и управления, а так же формируется база исходных данных. На нижнем уровне можно выделить две основные подсистемы:

- подсистема оперативной памяти и регистрации измерений, параметров, отчетов и команд управления. Именно эта подсистема ведет полный архив работы системы.
- подсистема решения задач коммуникационного обмена – эта подсистема непосредственно решает задачу связи верхнего уровня с нижним (передача параметров и измерений, изменение значений параметров, запуск циклограмм и т.д.).

ПО используемое при регистрации и обработке параметров ЖРД МТ можно функционально разделить на шесть видов программ:

- Прикладная программа «ПАРАМЕТРЫ».
- Прикладная программа «ЗАМЕРЫ».

- Прикладная программа «ДРАЙВЕРЫ».
- Прикладная программа «СЕРВЕРЫ И КЛИЕНТЫ».
- Прикладная программа «РЕГИСТРАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ И ОТСЧЕТОВ».
- Прикладная программа «ЦИКЛОГРАММЫ».

Измерительная подсистема позволяет получать следующие экспериментальные данные: профиль температуры стенки камеры сгорания и сопла ЖРД, величины давления в различных магистралях огневого стенда, величины тока и напряжения клапанов горючего и окислителя, тягу ЖРД. Подсистема управления и сбора данных, построенная на архитектуре VME и SCXI, позволяет построить информационную систему, которая может собирать полученные результаты измерений как медленно, так и быстро меняющихся параметров.

Механизм управления системы сбора данных представляет собой персональную ЭВМ со специальным разработанным программным обеспечением, осуществляющим управление стендом, отображение результатов измерения с помощью специального модуля визуального контроля, вывод и хранение полученной информации с помощью созданного в среде LabView (Рис. 2) программного обеспечения. Программная среда LabView включает в себя весь необходимый набор инструментов для сбора данных, их анализа и представления полученных результатов.

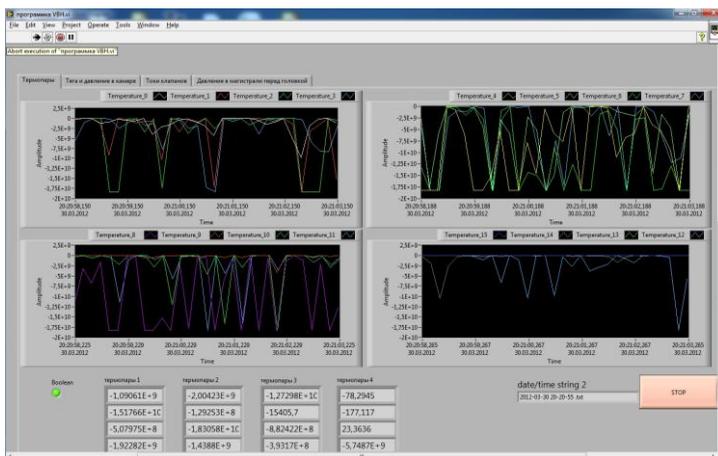


Рис. 2. Вид рабочих окон программы LabView

Модуль обработки информации позволяет создавать отчеты о результатах проведенных экспериментов в требуемом для экспериментатора текстовом виде, с дальнейшей возможностью преобразования в таблицы или массивы данных.

Полностью собранный отчет с результатами всех параметров работы двигателя обрабатывается в программе: «Автоматическая обработка и анализ результатов огневого испытания жидкостного ракетного двигателя малой тяги» написанной в MathCAD 14.

Программа предназначена для автоматической обработки и анализа данных, полученных в процессе экспериментальной отработки жидкостного ракетного двигателя. Входными данными являются измеряемые в темпе эксперимента характеристики жидкостного ракетного двигателя: расходы окислителя и горючего, давление в камере сгорания, тяга двигателя, температуры стенки камеры сгорания и др. Программа позволяет рассчитывать основные энергетические показатели работы двигателя и судить о степени совершенства рабочего процесса в нем, а также проводить экспресс-диагностику двигателя после каждого запуска. Программа может обрабатывать данные результатов эксперимента, полученные из систем сбора данных в формате txt-файла. Представление данных производится путем построения графиков изменения характеристик двигателя во времени. Особенностью программы является возможность обработки данных, полученных от измерительных систем с различной частотой опроса датчиков.

Библиографический список

1. Пухов В. А., Чучеров А. И. Стендовые огневые испытания ЖРД. - М.: Машиностроение, 1971.

*К.А. Наумова, асп.; рук. В.Е. Степанов, д.ф.-м.н, проф.
(СВФУ, г. Якутск)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТВОРНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ТОПЛИВНЫХ ПАКЕТОВ ИЗ ТБО, КРОШКИ БУРОГО УГЛЯ И ОТРАБОТАННОГО МАСЛА МЕТОДОМ РАДИАЦИОННО- ИНДУЦИРОВАННОЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДОЗИМЕТРИИ

Разработана феноменологическая модель процессов теплообмена в неравновесных отопительных системах.

Поглощение веществом ионизирующего излучения приводит к поглощению энергии веществом в виде тепловой энергии и соответствующим повышением температуры. Поглощение радиации веществом сопровождается не только ионизацией воздуха в эталонной камере в счетчике Гейгера внутри дозиметра, но и повышением температуры вещества. Следовательно, измеряя повышение температуры можно определять дозы радиации. Такой метод можно применить для определения энергетического выхода сжигаемых в ядерных реакторах на быстрых нейтронах радиоактивных отходов.

С другой стороны, для термодинамически неравновесных систем, в которых происходят процессы выделения и потери тепловой энергии (это не только ядерные реакторы, но и любые отопительные системы от котлов до кирпичных печей), акцент можно перенести на явление повышения температуры. Таким образом, мы приходим к необходимости введения температурной дозы [1,2].

Пусть имеется отопитель (печи, котлы и т.д), потребляющий различные топлива (дрова, уголь, резина и т.д). На плиту отопителя можно поставить сосуд с водой и нагревать, измеряя температуру воды через определенные интервалы. Составим график изменения во времени температуры воды в теплоприемнике. Откладывая по оси ординат температуру, а по оси абсцисс время, мы получим график этого процесса. Площадь под кривой на этом графике назовем температурной дозой и обозначим S . Понятие температурной дозы подобно понятию экспозиционной дозы, поскольку площадь температурного графика будет пропорционально количеству поглощенного водой количества теплоты при сгорании определенной массы топлива (дров) в топке печи. В системе СИ температурная доза будет в единицах градус (по Цельсию) на секунду (град·с). Для удобства обработки данных введем внесистемную единицу температурной дозы (град·мин), и её назовем стефаном, сокращенно будем обозначать $Ст$ [1,3]. Видно, что $1 Ст$ равен 60 град·сек.

Например, берем 1 литр воды и даем дозу в $1 Гр$ (1 Грей поглощенной дозы) в течение часа. Эту дозу равную $1 Дж/кг$, умножаем на полную массу воды в $1 кг$ и получаем энергию воды равную $1 Дж$, которая эквивалентна $4,38$ калорий тепловой энергии. Если вода имела начальную температуру $0^{\circ}C$, то она нагреется до $0,000239^{\circ}C$. Эту разность температур умножаем на время 60 минут и получаем температурную дозу равную $0,014Ст$ [4]. Аналогичным образом рассмотрим $1 кг$ воздуха (назовем его воздушным дозиметром), даем дозу в $1 Гр$. И если воздух имел начальную температуру $0^{\circ}C$, то нагреется на $0,001^{\circ}C$. Полученную разность температур умножаем на 60 минут и

получаем температурную дозу, которая равна 0,06 Ст. Таким же методом зададим воздуху (1 кг) смертельную дозу (для человека) в 7 Гр в течении часа. Через час разность температур составит 0,007 °С, умножаем на время (60 минут) и находим температурную дозу равную 0,42 Ст.

Для измерения теплотворности были изготовлены антирадоновые керамические печи с эффектом низкотемпературной газогенерации, которые обладают высоким коэффициентом полезного действия (10 литров воды закипает за 13 минут при отоплении сухой лиственницей).

Для определения температурной дозы составим основное уравнение баланса [2] для процесса нагрева воды при сгорании некоторого количества топлива m :

$$S = kHm\Delta t \quad (1)$$

где S - температурная доза, k - коэффициент теплообмена печи, учитывающий уход тепла с дымовыми газами, H - теплотворность топлива (Дж\кг), m -масса топлива(кг), $\Delta t = t_2 - t_1$ полное время горения топлива.

Из основного уравнения баланса для температурной дозы находим значение теплотворности угля:

$$H_{\text{угля}} = 11,35 \cdot 10^6 \text{ Дж} \setminus \text{кг} \pm 2,8375 \cdot 10^6 \text{ Дж} / \text{кг} \quad (2)$$

теплотворности смеси уголь+лиственница:

$$H_{\text{листв-ца+уголь}} = 10,2 \cdot 10^6 \text{ Дж} \setminus \text{кг} \pm 2,505 \cdot 10^6 \text{ Дж} / \text{кг} \quad (3)$$

теплотворности пластмассы:

$$H_{\text{пластмассы}} = 37,2 \cdot 10^6 \text{ Дж} \setminus \text{кг} \pm 9,35 \cdot 10^6 \text{ Дж} / \text{кг} . \quad (4)$$

теплотворности смеси лиственница+пластмасса:

$$H_{\text{пластмассы+листв-ца}} = 11 \cdot 10^6 \text{ Дж} \setminus \text{кг} \pm 2,75 \cdot 10^6 \text{ Дж} / \text{кг} . \quad (5)$$

теплотворности резины:

$$H_{\text{резины}} = 25,31 \cdot 10^6 \text{ Дж} \setminus \text{кг} \pm 6,3275 \cdot 10^6 \text{ Дж} / \text{кг} \quad (6)$$

теплотворности смеси лиственница+резина:

$$H_{\text{резина+листв-ца}} = 12,2 \cdot 10^6 \text{ Дж} \setminus \text{кг} \pm 3,05 \cdot 10^6 \text{ Дж} / \text{кг} \quad (7)$$

теплотворности отработанного масла:

$$H_{\text{масла}} = 19,8 \cdot 10^6 \text{ Дж} \setminus \text{кг} \pm 4,95 \cdot 10^6 \text{ Дж} / \text{кг} \quad (8)$$

теплотворности смеси масло+лиственница:

$$H_{\text{масло+листв-ца}} = 10,9 \cdot 10^6 \text{ Дж} \setminus \text{кг} \pm 2,725 \cdot 10^6 \text{ Дж} / \text{кг} \quad (9)$$

теплотворности Харбалахского бурого угля:

$$H_{\text{Харбалахский уголь}} = 14,8 \cdot 10^6 \text{ Дж} / \text{кг} \pm 2,8 \cdot 10^6 \text{ Дж} / \text{кг} \quad (10)$$

теплотворности смеси лиственница+Харбалахский бурый уголь:

$$H_{\text{Харб-уголь+листв-ца}} = 18,6 \cdot 10^6 \text{ Дж} / \text{кг} \pm 4,5 \cdot 10^6 \text{ Дж} / \text{кг} \quad (11)$$

Данные результаты получены при следующих соотношениях компонент:

лиственница : уголь 2,3:1;

лиственница : резина (автомобильная камера) 4,2:1 ;

лиственница : пластмасса (пластиковые бутылки, посуда) 19:1;

лиственница : отработанное масло 6,5:1;

лиственница : Харбалахский бурый уголь 4:1.

Полученные результаты отражены на рис. 1.

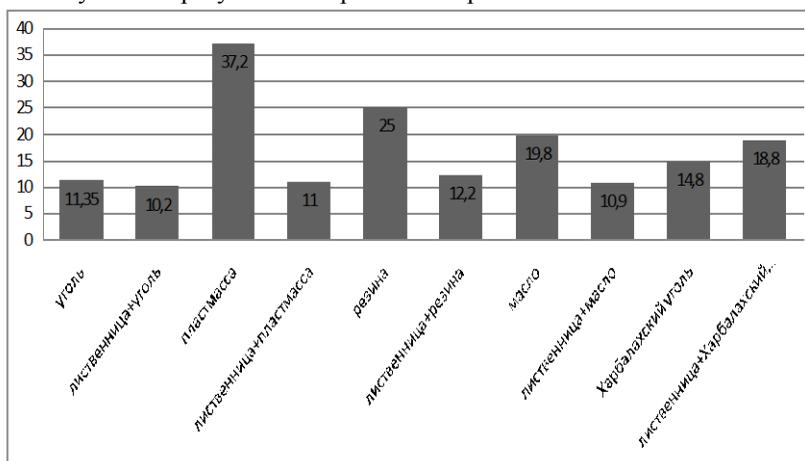


Рис. 1. Таблица теплотворных способностей

Из графика видно, что теплотворности топливных композиций больше теплотворности дров, но меньше теплотворности угля, резины и пластмассы. Смесь лиственница и пластмасса имеет теплотворность, немного превосходящую теплотворность дерева. Причина в том, что масса пластмассы в композиции 19 раз меньше массы дерева. Увеличение доли пластмассы приведет к соответствующему увеличению теплотворности топливной композиции.

Выводы:

1. Впервые разработана новая общая теория радиационно-

индуцированной температурной дозиметрии для неравновесных тепловых процессов [1,5].

2. Методом температурной дозиметрии определены теплотворные способности топливных композиций.

Библиографический список

1. **Наумова К.А.,** Степанов В.Е. Новое понятие температурной дозиметрии для определения теплотворной способности топливных композиций /К.А. Наумова, В.Е. Степанов //Труды Всеросс. конференции молодых ученых «Проблемы и перспективы управления энергетическими комплексами и сложными техническими системами в арктических регионах»: сб. науч.тр. / Изд-во «Компания Дани Алмас» - Якутск, 2012. - С.49-52. Библиогр: с. 52.

2. **Наумова К.А.,** Степанов В.Е. Разработка теории экспериментальной методики для температурной дозиметрии для неравновесных процессов /К.А. Наумова, В.Е. Степанов // Материалы Всеросс. конференции молодых ученых «Эрэл-2011»: сб. науч. тр. / Изд-во ООО «Сумори Пресс» - Якутск, 2012.- Том 1. С. 117-120.

3. **Наумова К.А.,** Степанов В.Е. Экспериментальное исследование теплотворности топливных композиций методом температурной дозиметрии /К.А. Наумова, В.Е. Степанов // Новый взгляд на физику: Ассамблея учителей физики: сб. науч. тр./ СМИК-Мастер. – Якутск, 2012.С. 53-55. Библиогр: с. 55.

4. **Наумова К.А.,** Степанов В.Е. Метод температурной дозиметрии для неравновесных тепловых процессов /К.А. Наумова, В.Е. Степанов // Физика и физическое образование: Республиканская научно-практической конференции, посвященной 100-летию доцента М.А. Алексеева: сб. науч. тр./ Издательский дом СВФУ. – Якутск, 2012. С. 141-146. Библиогр: с. 145-146.

5. **Stepanov V.E.,** Naumova K.A. Fundamental theory of thermal dosimetry and its application for the disposal of organic waste / V.E. Stepanov, K.A. Naumova //International Symposium European Environmental Forum «Euro-Eco-2012»: pragramm abstracts/ European Academy of Natural Sciences. – Hannover, Germany. 2012, P.87-89.

*В.П. Ташев, асп., И.А. Заранкевич, студ.;
рук. А. А. Козлов, д.т.н., проф.
(МАИ, г. Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОГО ВИДА ГОРЮЧЕГО ДЛЯ ЖРД НА ОСНОВЕ КЕРОСИНА С ДОБАВКАМИ ПИРОФОРНЫХ ВЕЩЕСТВ

Возможности улучшения привычных видов ракетных горючих очень малы, так как они практически полностью изучены с точки зрения своей эффективности. Выходом из данной ситуации является внедрение нового вида горючего.

Идея заключается в добавлении к традиционному горючему с высокой энергетикой, например, керосину, небольшого количества самовоспламеняющегося компонента, который будет выступать в качестве катализатора. В результате получается самовоспламеняющийся ком-

понент с высокой энергетикой, который обладает всеми свойствами, присущими обычному горючему.

Благодаря такой системе самовоспламенения не потребуется дополнительных катализаторов, подогрева, электро-искрового и других видов зажигания для инициирования воспламенения в камере ЖРД. Следовательно, вся система станет более простой и относительно более дешевой.

Данная разработка имеет высокий потенциал для будущего применения как в системах ориентации космического аппарата, так и в маршевых ЖРД для вывода большей массы полезной нагрузки на орбиту.

В работе сделан упор на исследование нового самовоспламеняющегося двухкомпонентного топлива. Высококонцентрированная перекись водорода (ВПВ) в качестве окислителя и керосин с различной концентрацией добавки пирофорных веществ триэтилалюминия (ТЭА) и триэтилбора (ТЭБ) – как горючее.

Эксперименты для определения порога и задержки самовоспламенения при различных концентрациях добавки и времени впрыска проводились в лаборатории топлив кафедры 202 МАИ. Опытным путем было установлено, что лучше производить впрыск горючего в окислитель, т.к. керосин с добавкой на открытом воздухе склонен к самонагреванию. Инжектируемый компонент, угол впрыска горючего, температура и давление в помещении были постоянными для всех проведенных экспериментов. Изменяемыми параметрами являлись концентрация добавки к керосину, скорость впрыска горючего, а также температура вводимого компонента.

Суммарная концентрация добавки уменьшалась с 20% с шагом в 2% при постоянной температуре до момента исчезновения самовоспламенения. Далее керосин с концентрацией добавки, не дающей самовоспламенения, подогревался с шагом в 10К до возникновения самовоспламенения при впрыске в перекись. Для каждого случая было сделано по 3 эксперимента для получения достоверных результатов.

Таблица 1 - Постоянные параметры во время всех экспериментов

Угол впрыска горючего	45°
Доля горючего для одного эксперимента	1 мл
Доля окислителя для одного эксперимента	4 мл
Диаметр тигля	92 мм
Высота тигля	32 мм
Концентрация H_2O_2	84,5 %
Атмосферное давление	98392-100525 Pa
Температура в помещении	18,5-20° C

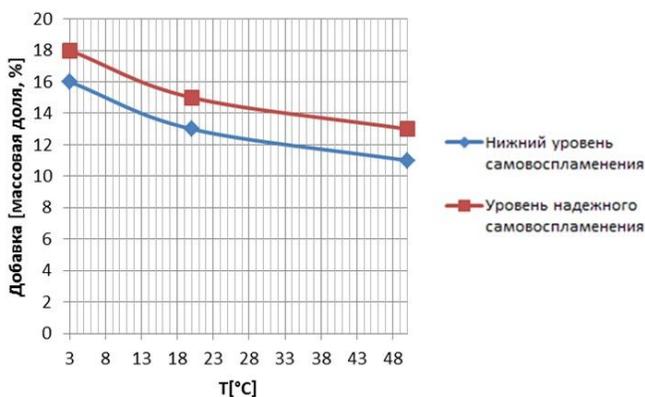


Рис. 1. Зависимость самовоспламенения от температуры и концентрации добавки для 84,5% H_2O_2

Во время всех экспериментов проводилась высокоскоростная съемка со скоростью 420 кадров в секунду, что позволило определить время начала контакта компонентов и выявить задержку воспламенения.

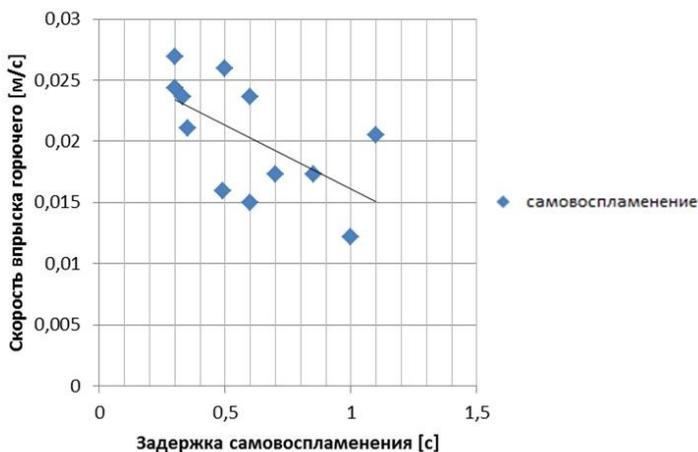


Рис. 2. Задержка самовоспламенения в зависимости от скорости впрыска горючего для 84,5% H_2O_2

По результатам проведенных экспериментов выявлен нижний предел концентрации добавки, при которой происходит надежное самовоспламенение и время задержки воспламенения в атмосферных усло-

виях. В дальнейшем планируется проведение огневых испытаний с использованием исследуемых образцов топлива на экспериментальных ЖРД МТ в атмосферных условиях.

Библиографический список

1. **Егорычев, В.С.** Расчёт и проектирование смесеобразования в камере ЖРД. Самара: СГАУ, 2011.
2. **Manfretti, Chiara**, Lecture: Ignition in Liquid Propellant Rocket Engines. Munic: DLR, 2012.
3. **Некрасов Б.В.** Основы общей химии. - Т.2. - М.: Химия, 1973.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОДНОМЕРНЫХ ЗАДАЧ НАГРЕВА С ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ ВТОРОГО РОДА ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ В ПАКЕТЕ ANSYS

В настоящее время построение детерминированных математических моделей и на их основе изучение реально существующих процессов получило широкое распространение в различных отраслях науки. Целью их использования являются объяснения, а также предсказания, интересующих исследователя. Данная работа позволяет наглядно увидеть, как происходит нагрев тела, а именно бесконечной пластины, убедиться в точности расчета поставленной задачи.

Основная задача – изучить процесс нагрева тела, построенного в одномерном пространстве, определить точность расчета температурного поля пластины в конце нагрева при граничных условиях второго рода в зависимости от настроечных коэффициентов пакета *Ansys* (времени и шага по пространству) с использованием стандартных теплофизических свойств стали 20. Построив графики теплопроводности, плотности и теплоемкости от температуры в программе *Excel*, была найдена сплайн функция коэффициента температуропроводности от температуры. Она использовалась для учета переменности теплофизических свойств в *Mathcad*, в которой была составлена программа определения температурного поля при нагреве пластины с граничными условиями второго рода. Для учета переменности свойств в пакете *Mathcad* использовали хорошо изученный и отработанный численный метод линий (MOL) для решения задач нагрева, реализованный в

функции [1]. После импорта в программную систему конечного анализа *Ansys* задали начальные и граничные условия второго рода.

Проведенные расчетные исследования позволяют достичь поставленной цели, а именно выбора настроечных коэффициентов посредством построения номограмм, которые используются для эффективности решения задач на стадии ее поставки.

Библиографический список

1. **Горбунов В.А.** Использование нейросетевых технологий для повышения энергетической эффективности теплотехнологических установок: монография / В.А. Горбунов; ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина». - Иваново, 2011 – 476 с.

*Т.И. Трусова, студ.; рук. О.Ю. Нагорная, асп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГАЗОВЫХ ГОРЕЛОК В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ FLOWVISION

Устройства для сжигания топлива предназначены для того, чтобы обеспечить превращение химической энергии топлива в тепловую, необходимую для осуществления технологических операций в рабочем пространстве печи. Устройства которые применяют для сжигания газообразного топлива, называются горелками.

Основное назначение горелок состоит в обеспечении заданного режима работы печи для достижения этой цели применение горелок должно обеспечить:

- 1) подвод и смешение между собой необходимых количеств топлива и воздуха;
- 2) полноту сжигания топлива в пределах рабочего пространства печи;
- 3) сжигание топлива с образованием такого пламени, которое может обеспечить требуемый по технологическим условиям уровень теплопередачи в рабочем пространстве печи.

Таким образом, весь цикл, который составляет процесс сжигания топлива (смешение - горение - теплопередача) должен быть выполнен с наивысшей эффективностью и наивысшем КПД.

Целью данной работы является разработка математических моделей различных типов газовых горелок и исследование режимов их работы.

Существует большое количество конструкций горелок, в данном случае рассматривается работа газовой горелки без предварительного

смещения типа «труба в трубе» (рис. 1) средней тепловой мощности со следующими конструктивными параметрами, приведенными в табл. 1.

Моделирование работы горелок осуществляется в программном комплексе *FlowVision*. Но поскольку *Flow Vision* не имеет своего собственного графического процессора, то сначала геометрия расчетной области строится в системе автоматизированного проектирования САПР, а затем передается в программный комплекс *Flow Vision* (рис. 2).

Таблица 1 - Конструктивные размеры (мм) горелки типа «труба в трубе» средней тепловой мощности ДВС

Обозначение горелки ДВС 60/d _Г											
d _Г	d _{НГ}	D	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈	D ₉
10 - 80	60	130	160	80	160	195	76	180	35	50	1 1/2"
d	d ₁	H	h	h ₁	L	L ₁	l	Количество отверстий		Масса горелки, кг	
								n	n ₁		
14	18	150	18	16	370	200	40	4	4	23,8	

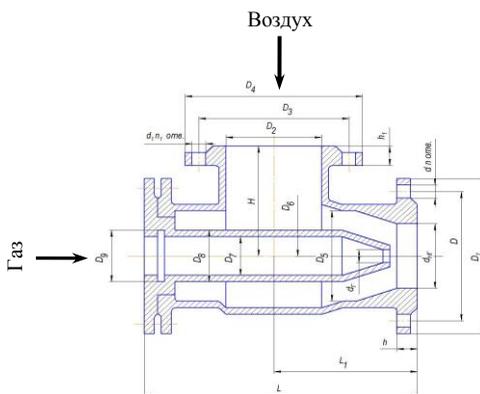


Рис. 1. Горелка типа «труба в трубе» средней тепловой мощности

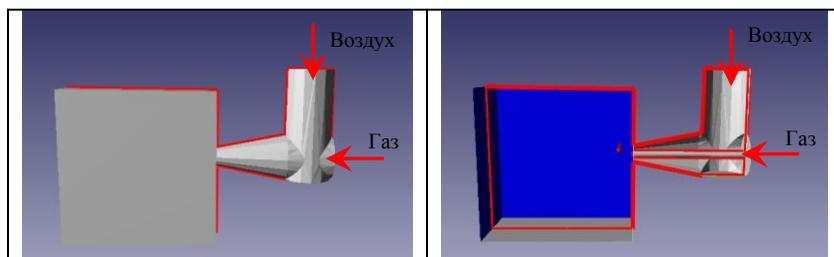


Рис. 2. Трехмерная твердотельная модель газовой горелки типа «труба в трубе»

При моделировании процесса горения в программе *FlowVision* решаются уравнения Навье - Стокса, переноса турбулентных функций, уравнение энергии, уравнение для восстановления концентрации топлива, уравнение для концентрации топлива и уравнение для пульсаций. В результате расчетов были получены поля скоростей, температур и концентраций.

Библиографический список

1. **Современные** горелочные устройства (конструкции и технические характеристики): Справочное издание / А. А. Винтовкин и др. — М.: Машиностроение – т.1, 2001. - 496 с.

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

РАЗРАБОТКА СПИСКА ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КУЗНЕЧНОГО ЦЕХА

Проектирование является первым и основным этапом капитального строительства, обеспечивающим создание новых и реконструкцию действующих механосборочных и вспомогательных цехов. Основной целью проектирования является разработка наиболее экономичных проектов цехов и малых предприятий, обеспечивающих выпуск высококачественной продукции при наиболее благоприятных условиях труда.

Поэтому для проектирования кузнечного цеха имеет место определенный список требований, при выполнении которого цех будет иметь допустимую ожидаемую работоспособность, эффективность и ремонтоспособность. При разработке списка требований необходимо задать несколько иерархически взаимосвязанных списков требования, которые соответствуют определенным этапам разработки. Например, на начальной стадии проектирования современный кузнечный цех должен удовлетворять общим требованиям.

В качестве примера можно привести требования к нагревательным современным печам:

- обеспечение необходимой температуры и заданного режима нагрева;
- высокая тепловая экономичность с полным сжиганием топлива и максимальным к.п.д.;

- простота конструкции и минимальные габаритные размеры, обеспечивающие нагрев большого ассортимента изделий при различных режимах и с высокой производительностью;
- механизация и автоматизация загрузки и выгрузки изделий, а также их продвижение в печи, что увеличивает её производительность, облегчает обслуживание и позволяет устанавливать в общем производственном потоке цеха или в поточных автоматических линиях;
- автоматическое регулирование теплового режима, обеспечивающее более точное соблюдение заданного режима по сравнению с ручным регулированием; В результате этого повышается качество нагреваемых изделий;
- удобство обслуживания при эксплуатациях и ремонтах;
- возможность применения защитной контролируемой атмосферы для получения без окислительного нагрева металла.

Всем этим требованиям в первую очередь удовлетворяют электрические и газовые печи, работающие на природном газе и получающие преимущественное применение в кузнечно-термических печах

В результате список требований позволит нам учитывать недостатки проектирования и более точно и правильно разработать проект для строительства цеха.

Библиографический список

1. **Горбунов В.А.** Использование нейросетевых технологий для повышения энергетической эффективности теплотехнологических установок: монография / В.А. Горбунов; ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина». - Иваново, 2011 – 476 с.

2. **Половинкин А. И.** Методы инженерного творчества: учеб. Пособие/ А.И. Половинкин; Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР, Волгоградский политехнический институт – Волгоград: Б.и., 1984 – 366 с.

*О.В. Рыбакова, студ., рук. Н.П. Гусенкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Радиоактивные отходы низкой и средней активности, которые образуются при эксплуатации и выводе из эксплуатации АЭС должны быть извлечены, переработаны, кондиционированы и захоронены [1].

Переработка радиоактивных отходов (РАО) является сложной технической проблемой. Существует ряд технологий по переработке РАО: битумирование, цементирование, остекловывание, прессование, сжигание, дезактивация, переплавка металла, сорбция и осаждение. [2] Исследования, производимые в развитых индустриальных странах, направлены на разработку новых технологий и оборудования для эффективной переработки РАО. Из них наиболее универсальными и комбинированными являются установки сжигания твердых радиоактивных отходов и установки плазменной переработки. Рассмотрим вышеперечисленные технологии.

Сжигание твердых радиоактивных отходов в колосниковой печи.

Принцип действия: твердые радиоактивные отходы (ТРО) сжигаются с избытком воздуха при температуре 850-950⁰С. Одновременно с ними могут перерабатываться жидкие радиоактивные отходы (масла), распыляемые через отдельную форсунку. Дымовые газы подвергаются разложению в камере дожигания с избытком воздуха при температуре 1000-1200⁰С. Затем газы охлаждаются и подвергаются очистке от радиоактивных аэрозолей и других веществ. Зольный остаток, летучая зола цементируются высокопроникающими растворами.

Недостатками данного способа переработки являются:

- образование больших объемов дымовых газов, получающихся в результате использования жидких и газообразных топлив, которые нуждаются в очистке от радиоактивных и вредных химических веществ перед выбросом в атмосферу;
- эффективность сжигания обеспечивается за счет двух – трехкратно избытка воздуха, подаваемого на колосники;
- высокая степень уноса золы.

Плазменная переработка радиоактивных отходов [3].

Данный способ позволяет получать продукт в виде шлакового компаунда, пригодный для транспортировки и захоронения или долгосрочного хранения и существенно сокращает (в 1,5 раза) объем отходящих газов.

Принцип действия: отходы через узел загрузки попадают в верхние слои шахты, заполненной перерабатываемым материалом. Опускаясь под действием сил тяжести, перерабатываемый материал нагревается за счет тепла отходящих газов. В верхних и средних слоях шахты отходы подсушиваются при отсутствии свободного кислорода. Органические остатки отходов и тугоплавкие органические составляющие поступают в нижние слои шахты - зону горения коксового остатка и плавления шлака. Шлаковый расплав накапливается в плавильной

ванне, где он гомогенизируется, перегревается и через узел слива направляется в бокс приемки расплава.

Проведен анализ двух методов переработки ТРО по следующим параметрам: безопасность эксплуатации, коэффициент преобразования ТРО в конечный продукт, а также выполнена количественная и качественная оценка радиационных выбросов в окружающую среду. На основе анализа сделан вывод, что более эффективным методом является плазменная переработка ТРО.

С помощью программного пакета *Solid Works*, разработана геометрическая модели теплообменного аппарата и камеры сжигания, входящих в состав установок переработки РАО, далее они транспортировались в программный пакет *ANSYS*. Получены поля давлений, температур, скоростей при моделировании работы камеры сжигания и теплообменного аппарата.

Библиографический список

1. **Федеральный** закон Российской Федерации от 11 июля 2011 года N 190 – ФЗ. «Российская газета» - Федеральный выпуск №5529 от 15 июля 2011 г.
2. **Обзор** проблемы обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом /И.А. Андрюшин, Ю.А. Юдин. Издательство ФГУП «РФЯЦ - ВНИИЭФ» – 2010 г. –131 с.
3. **Плазменные** технологии: расширение возможности переработки отходов Дата: 16/11/2006 «Обращение с РАО и ОЯТ» И.И.Кадыров, М.А.Полканов, В.А.Горбунов, С.А.Дмитриев, Ф.А.Лифанов, А.П.Кобелев, ГУП МосНПО «Радон», Россия 8 с.

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

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Тепловой двигатель — устройство, совершающее работу за счет использования внутренней энергии, тепловая машина, превращающая тепло в механическую энергию, использует зависимость теплового расширения вещества от температуры. Действие теплового двигателя подчиняется законам термодинамики. Это возможно при нагревании рабочего тела (газа), который совершает работу за счёт изменения своей внутренней энергии. Повышение и понижение температуры осуществляется, соответственно, горячим и холодным теплоносителем.

В данной работе рассматривается модель теплового двигателя, работающего за счет изменения плотности легкокипящей жидкости при

нагреве и охлаждении. Прототипом для создания модели является работа [1].

Целью работы является построение первичной (упрощенной) модели теплового двигателя и оценка основных его параметров, таких как необходимая температура нагрева теплоносителя, размер камеры расширения/сжатия, толщина стенки от внешней стенки двигателя до стенки камеры сжигания/расширения, и другие необходимые параметры.

Создание геометрии осуществляется непосредственно в модуле *Ansys Workbench Design Viewer*. Внешний вид модели двигателя представлен на рис. 1.

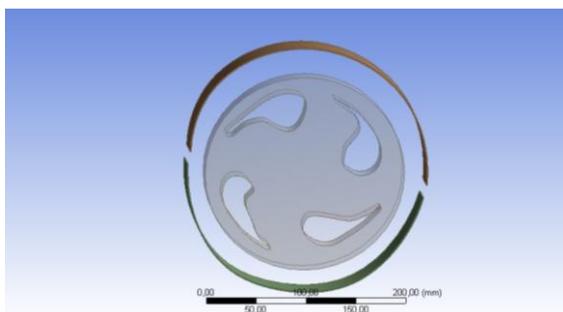


Рис. 1. Внешний вид камер сжатия/расширения теплового двигателя

Данная модель теплового двигателя является разработкой в приоритетной области энергосбережения на предприятиях. В качестве теплоносителей могут использоваться уходящие газы с котлов, внутренняя энергия которых полностью не задействуется, т.е. устройство является потребителем вторичных энергетических ресурсов.

Предложенная модель двигателя предлагается использовать для привода насосов, вращающихся регенераторов и теплообменников.

Библиографический список

1. **Авторское** свидетельство А.с. № 1254272 СССР, МКЧ F28 D19/04 F23 L 5/02. Ротор генератора / Л.А. Бровкин, В.А. Горбунов, Л.С. Крылова. - № 38530031/24-06; заявл. 11.02.85; опубл. 30.08.1986, Бюл. №12. – 3с.

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

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КАМЕРНОЙ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ № 2 ИВАНОВСКОГО ЗАВОДА ТЯЖЕЛОГО СТАНКОСТРОЕНИЯ

Технологическое оборудование кузнечного цеха Ивановского завода тяжелого станкостроения предназначено для нагрева металла и последующей его пластической и термообработки и включает пять технологических установок (ТТУ). Реально работают только три печи. В данной работе рассматривается теплотехнологическая установка самых малых размеров [1]. Теплотехнологические установки представляют собой установку, состоящую из нагревательной печи и молота и предназначенную для нагрева и ковки металла. Нагревательная печь работает в садовом режиме по односменному или двухсменному графику.

Целью работы является разработка геометрической и математической модели нагревательной камерной печи кузнечного производства машиностроительного предприятия для нагрева заготовок под ковку в программном комплексе *ANSYS* и разработка рациональных технологических режимов нагрева.

В работе для моделирования используется программный комплекс *ANSYS Fluent* для этого необходимо построить твердотельную модель камерной нагревательной печи в CAD пакете *SolidWorks*.

Постановка задачи:

Печь имеет размер рабочего пространства $0,82 \times 0,58 = 0,47 \text{ м}^2$, в ней до заданных параметров качества нагрева греются заготовки из марки стали 40X. В печи нагревалось 40 заготовок с размерами: диаметром $d=0,05 \text{ м}$ и длиной $l=0,095 \text{ м}$. Печь разогревалась без металла 0,58 ч, время нагрева заготовок составляло 0,8 ч и время ковки 0,75 ч. В период ковки заслонка печи была открыта на высоту 250 мм. Начальная температура металла составляла 293 К. Заготовки нагревались за счет излучения от газа и кладки и конвекции от продуктов сгорания.

В ходе решения задачи необходимо найти распределение температурных полей газа, кладки печи и металла, в конце периода нагрева. Верифицировать математическую модель по этим параметрам с экспериментальными данными приведенными [2].

Модель предполагается использовать для получения рациональных режимов нагрева металла.

Библиографический список

1. Карпова О.А. Разработка режимов работы печей кузнечного производства машиностроительного предприятия в программном комплексе ANSYS: Дип. Иваново, 2012.
2. Горбунов В.А. Использование нейросетевых технологий для повышения энергетической эффективности теплотехнологических установок: монография / В.А. Горбунов; ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина». - Иваново, 2011 – 476 с.

*М.С. Цветкова, О.И. Щеголева, студ.; рук. Е.Н. Гнездов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБСЛЕДОВАНИЕ ТУННЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВИЗОРА

В результате проведенных ранее исследований туннельной печи для обжига керамических изделий ЗАО «Норский керамический завод» (г. Ярославль) было выявлено, что существенная часть теплопотерь происходит через участки наружной поверхности кладки печи с повышенной температурой. Причинами появления этих участков могут быть как разрушение внутренних слоев кладки, так и просто нарушение режима работы печи.

Для снижения потерь необходимо идентифицировать места утечки тепла. Такие аномальные по температуре участки наружной поверхности кладки не определяются визуально, поэтому для их мы применили тепловизор *IRISYS 1011*.

Тепловизор *IRISYS 1011* позволяет устанавливать ручной или автоматический режим работы. Нами был применен автоматический выбор диапазона температур на тепловизионных снимках.

Одновременно с тепловизионными снимками мы делали фотографические, что упрощало выявление мест расположения участков с повышенной температурой.

На поле тепловизионного изображения можно установить произвольно до 10 точек, в которых будет регистрироваться температура. Мы использовали 9 равномерно распределенных точек, в том числе одну – в центре снимка (соответствующую лазерному целеуказателю, см. рис. 1). Каждая из выделенных точек на тепловизионном снимке обозначена квадратиком своего цвета, таким же цветом кружочками отмечены значения температур в этих точках на вертикальной шкале температур. При поиске аномальных участков в центр тепловизионного снимка помещалась или самая большая, или самая маленькая тем-

пература по всему полю. Температура центра тепловизионного снимка изображена в правом верхнем углу. Результаты этих исследований получились в виде набора примерно 80-ти пар тепловизионных и фотографических снимков. На снимках приводились только участки с аномальными температурами с указанием номеров позиций. Следует иметь в виду, что поскольку угол зрения тепловизора достаточно узкий, на фотографическом снимке границы изображения шире. Сравнивая оба вида снимков необходимо по оранжевой короткой черте идентифицировать на фотографическом снимке центр тепловизионного снимка и по характеру объекта установить примерные границы тепловизионного снимка на фотографическом снимке.

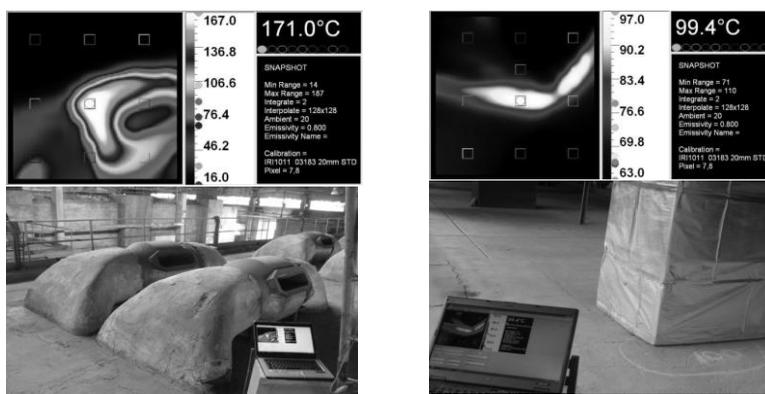


Рис. 1. Фотографическое и тепловизионное изображения участка свода печи

Обнаружены участки стен и свода печи с пятнами повышенной температуры на ровных участках поверхностей, без каких-либо конструктивных узлов. По полученным снимкам с номерами позиций можно определить местоположение аномальных участков, в том числе на ровных поверхностях. По расположению этих участков с учетом внутренних конструкций следует искать индивидуальные причины таких отклонений (разрушение внутренних слоев кладки, отсутствие теплоизоляции внутри и т.д.).

Выводы:

1. Разработана методика применения тепловизора IRISYS 1011 в комплекте с ПК.
2. Получены тепловизионные и фотографические снимки всех участков наружной кладки печи с аномальными температурами, по которым можно планировать ремонт и пути снижения теплопотерь поверхностями.

*М.С. Цветкова, студ.; рук. О.Б. Колибаба, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

К РАСЧЕТУ КОЭФФИЦИЕНТА ОДНОВРЕМЕННОСТИ РАБОТЫ ГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Все городские потребители – бытовые, коммунальные общественные и промышленные – потребляют газ неравномерно. Одним из показателей неравномерного потребления газа является коэффициент неравномерности. Потребление газа изменяется по месяцам года, дням недели, календарным дням, а так же по часам суток и определяется рядом факторов: климатические условия, уклад жизни населения, режим работы предприятий и учреждений, характеристикой газооборудования зданий и промышленных цехов. В зависимости от периода, в течение которого потребление газа принимают постоянным, различают сезонную, суточную и часовую неравномерности, и, соответственно, выделяют сезонный, суточный и часовой коэффициент неравномерности.

Режим потребления газа в квартирах является характерным примером случайного процесса. Бытовые газовые приборы работают периодически и включаются в случайные моменты времени.

При расчете и проектировании внутрименовых, дворовых и внутриквартирных газовых сетей, когда известны число квартир, подлежащих газификации, количество и ассортимент установленных в них газовых приборов, используется метод учета неравномерности потребления газа с помощью коэффициентов одновременности.

В соответствии с методом расчетный расход газа находят по формуле:

$$V_p = \sum_{i=1}^m K_0 \cdot V_{ном.i} \cdot n_i, \quad (1)$$

где m - число типов приборов или их групп приборов; $V_{ном.i}$ - номинальный расход газа прибором или группой приборов (принимается по паспортным данным или техническим характеристикам приборов); n_i - число однотипных приборов или групп приборов; K_0 - коэффициент одновременности работы однотипных приборов или однотипных групп приборов (его берут для общего числа приборов, для жилых зданий это общее число квартир).

Значения коэффициента одновременности K_0 в зависимости от типа и числа устанавливаемых газовых приборов для жилых зданий приведены в [1]. Рекомендуемые величины K_0 для соответствующего числа квартир взяты со значительными интервалами. Так, например, для жи-

лых зданий с числом квартир от 10 до 100 этот интервал равен 10, т.е. число квартир составляет: 10, 20, 30, 40... и т.д.. А при числе квартир от 100 до 400 отсутствуют значения коэффициента K_0 .

Отсутствие этих данных вносит погрешность в полученное по формуле (1) значение расчетного расхода газа.

Целью данной работы является определение величин коэффициента одновременности для жилых зданий с количеством квартир не указанным в [1]. Для этого по известным значениям K_0 были построены графики зависимости коэффициента одновременности от количества квартир в здании (рис.1). Предложена аппроксимация полученных зависимостей степенным полиномом вида:

$$K_0 = a_i \cdot x^{-b}, \quad (2)$$

где K_0 - коэффициент одновременности; x - число квартир; a , b - коэффициенты аппроксимации.

Для повышения точности расчетов количество квартир в доме разбивали на следующие интервалы: 10÷49, 50÷99, 100÷400. Каждому из этих интервалов соответствуют свои коэффициенты аппроксимации a_i и b_i , значения которых представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Значения коэффициентов аппроксимации a_i и b_i

№	Ин-тервал	Плита 4-х конфорочная		Плита 2-х конфорочная		Плита 4-х конфорочная и газовый проточный водонагреватель		Плита 2-х конфорочная и газовый проточный водонагреватель	
		a_i	b_i	a_i	b_i	a_i	b_i	a_i	b_i
i=1	10÷49	0,304	0,081	0,3954	0,17	0,6474	0,281	0,6062	0,287
i=2	50÷99	0,3147	0,088	0,262	0,057	0,5273	0,232	0,434	0,207
i=3	100÷400	0,3504	0,111	0,3582	0,124	0,3713	0,151	0,3049	0,136

Плита 4-х конфорочная для i=1

$$y = 0.304x^{-0.081}$$

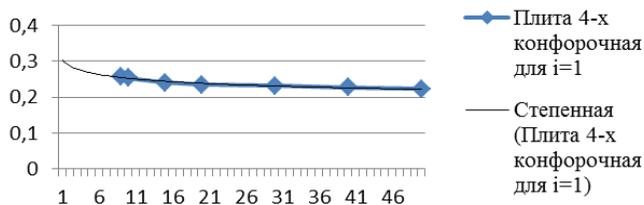


Рис. 1. Зависимости коэффициента одновременности от количества квартир

Для обработки данных использовался программный пакет *Excel*.

Полученные значения коэффициентов одновременности K_0 позволяют скорректировать величины расчетных расходов газа для отдельных жилых и общественных зданий, и могут быть рекомендованы в качестве дополнения к [1].

Библиографический список

1. Свод правил: СП 42-101-2003. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб, 2003.
2. Ионин А. А. Газоснабжение: Учебник. 5-е изд., стер.- СПб.: издательство «Лань», 2012.

*У. Д. Галанова, студ.; рук. О В. Самышина, О.Ю. Назорна, асп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОЙ МАССЫ ТБО

Ежегодно количество мусора возрастает на 3 % по объёму, следовательно, утилизация ТБО является актуальной проблемой.

Целью работы является анализ выхода пиролизного газа с наивысшей теплотворной способностью на основе нейросетевых технологий.

Объектом исследования является термическая установка для утилизации отходов, состоящая из двух блоков (рис. 1): блок для исследования процессов связанных с движением газов через слой ТБО (№ 1); блок для исследования процессов пиролиза органической части ТБО (№ 2).

При решении задачи были собраны экспериментальные данные [1] для обучения, которые характеризуют процесс получения пиролизного газа. В качестве входных параметров были использованы плотность ТБО, масса ТБО, температура ТБО, влажность ТБО, температура сушильного газа, температура печи. Выходными параметрами являлись процентное содержание CH_4 , CO , CO_2 , H_2 .

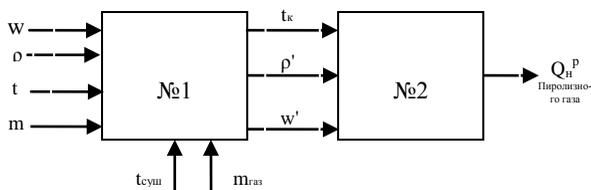


Рис. 1. Структура установки термической переработки ТБО

На основе статистических экспериментальных данных была создана нейросетевая математическая модель, которая позволила определить влияние плотности и влажности ТБО (рис. 2) при максимальной, средней и минимальной температуре сушильного газа на процентный выход пиролизного газа.

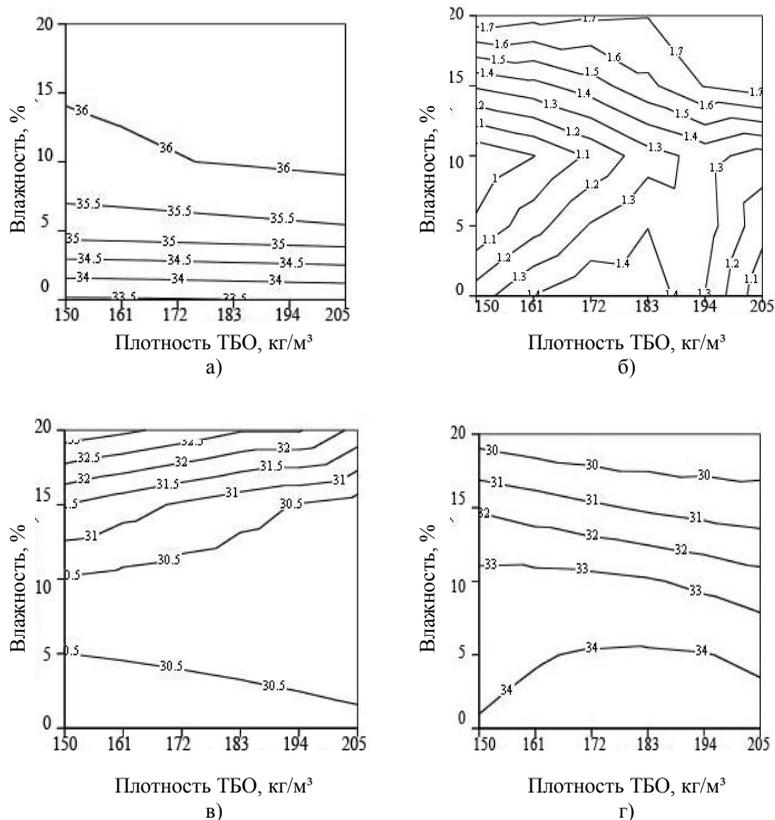


Рис. 2. Влияние параметров ТБО на процентный выход пиролизного газа при температуре сушильного газа около 300°C: а) CO₂; б) H₂, в) CO, г) CH₄

В результате было получено, что пиролизный газ с наивысшей теплотворной способностью (CH₄ = 34%; CO₂ = 32%; CO = 33%; H₂ = 1%) образуется при влажности ТБО от 0 до 10 % и температуре печи около 450°C.

Библиографический список

1. **Галанова У.Д.,** Нагорная О.Ю., Самышина О.В. Моделирование процессов пиролиза ТБО нейросетевыми технологиями / Тепловые и ядерные энерготехнологии // Региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2012»: Материалы конференции. В 7 т. Т. 2 – Иваново: ФГБОУ ВПО Ивановский государственный университет им. В.И. Ленина, 2012. – 82-84 с.

2. **Нагорная О.Ю.,** Горбунов В.А. Использование нейросетей для обработки экспериментальных данных. Метод. указания. – Иваново: ИГЭУ, 2006.

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

ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ ШУЙСКОЙ АДМИНИСТРАЦИИ И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ

Тепловизионный контроль позволяет получить данные высокой степени точности о состоянии объекта и его отдельных систем.

Тепловизионное обследование поможет определить:

- конструктивный, технологический и строительный дефект стеновых панелей;
- дефекты кирпичной кладки;
- нарушение швов и стыков;
- дефекты перекрытий;
- утечки тепла через остекленные участки зданий, стыки цокольных этажей и системы вентиляции;
- участки зданий с содержанием влаги выше нормы;
- участки с плохим функционированием системы отопления и водоснабжения;
- теплопотери зданий и соответствие установленным теплоизоляции нормативам.

При проведении термографического обследования зданий Шуйской администрации были выполнены следующие рекомендации:

1. Наружные тепловизионные съемки проводились при отсутствии атмосферных осадков, тумана и задымленности. Измеряемые объекты не подвергались воздействию солнечной радиации в течение предшествующих 12ч.

2. В здании функционировала система отопления.

Термограммы ограждающих конструкций зданий Шуйской администрации представлены на рис. 1-2.

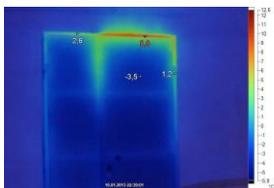


Рис. 1 Термограмма входной группы дверей здания Шуйской администрации



Рис. 2 Термограмма оконных проемов здания Шуйской администрации

Анализируя данные термограмм можно сделать следующие выводы:

- температурное поле на глади ограждений имеет недостаточную степень однородности;
- термограммы поверхностей стен под оконными проемами, выявили повышенную температуру в месте установки обогревательных приборов;
- швы и стыки дверей со стеной плохо теплоизолированы;
- термограммы поверхностей окон ПВХ не однородны по всему фасаду здания что указывает на некачественную установку окон.

В результате составления отчета первичного энергетического обследования здания Шуйской администрации были разработаны следующие мероприятия по энергосбережению, которые сведены в табл. 1.

Таблица 1 - Мероприятия по энергосбережению

Энергосберегающие мероприятия	Капитальные затраты на реализацию проекта, I ₀ , тыс. руб.	Годовая экономия ресурса	Годовая экономия финансовых средств, тыс. руб./год	Простой срок окупаемости проекта, РВ, год	Чистый дисконтированный доход от реализации проекта за 5 лет, тыс. руб.
Автоматизация освещения в местах общего пользования	1,68	1009,8 кВт*ч	4,847	0,34	16,425
Замена ламп накаливания на энергосберегающие лампы	0,66	173,75 кВт*ч	0,834	0,79	2,684
Демонтаж декоративных ограждений перед радиаторами	Повысит КПД использования отопительных приборов				
Установка термостатов на отопительные приборы	4,130	13,282 ГДж/год (3,17 Гкал/год)	3,353	1,2	9,073

Энергосберегающие мероприятия	Капитальные затраты на реализацию проекта, Ю, тыс. руб.	Годовая экономия ресурса	Годовая экономия финансовых средств, тыс. руб./год	Простой срок окупаемости проекта, РВ, год	Чистый дисконтированный доход от реализации проекта за 5 лет, тыс. руб.
Наложение теплоотражающей теплоизоляции	1,056	3,985 ГДж/год (0,951 Гкал/год)	1,006	1,09	3,604
Организационные мероприятия при работе с персоналом	Ответственные лица за энергоэффективность контролируют ход внедрения энергосберегающих мероприятий, следят за рациональным использованием ТЭР.				

Библиографический список

1. Программное обеспечение к тепловизору Fluke Ti32.
2. ГОСТ 26629-85. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций.

*Е.А. Лебедева, студ.; рук. О.Ю. Нагорная, асп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МАШИН В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ FLOWVISION

Основой всех систем снабжения промышленных предприятий энергоресурсами, важной частью парогенерирующих и котельных агрегатов являются нагнетатели (то есть насосы, вентиляторы, дымоходы) и транспортная трубопроводная система. Поэтому расчет режимов работы нагнетателей в этих сетях является важной частью как проектирования систем энергоснабжения, так и их оптимальной эксплуатации.

Наиболее широкое применение в различных сферах хозяйственной и промышленной деятельности нашли центробежные машины, так как они очень универсальны и экономичны. Центробежные машины, применяемые в теплоэнергетических установках, предназначены для подачи воздуха в топку котлов, перемещения топливных смесей в системах пылеприготовления и вывода дыма в атмосферу. Они применяются также для питания котлов, подачи конденсата, сетевой и циркуляционной воды, в системах водоснабжения и теплоснабжения.

Целью работы является разработка математических моделей различных типов центробежных машин в пакете FlowVision и исследование режимов их работы.

В центробежных нагнетателях лопасти закреплены на вращающемся диске (рабочем колесе), среда подается в центр рабочего колеса и под действием центробежных сил выбрасывается в спиральный отводной канал между диском и корпусом (рис. 1).

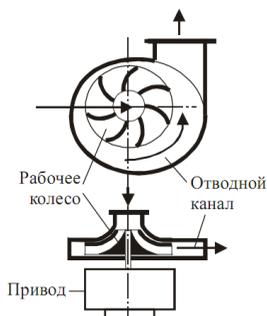


Рис. 1. Центробежный нагнетатель

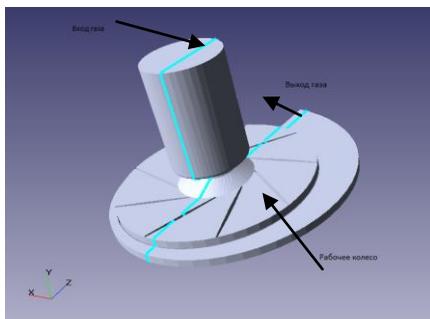


Рис. 2. Трехмерная твердотельная модель центробежного нагнетателя

Создание геометрической модели расчетного объекта производилось в САД-системе (центробежной машины, рис. 2), а затем импортировалась в программный комплекс *FlowVision*, где в результате была смоделирована работа центробежных машин и получены их напорные характеристики. Верификация моделей производилась с теоретическими данными. Для каждой конструкции нагнетателя имеется своя напорная характеристика, определяемая крутизной и максимальной величиной КПД, то есть зоной оптимальной работы. Определение напорной характеристики на стадии проектирования необходимо для прогнозирования характеристик, сопоставления и отбора наилучшего варианта проточной части.

Библиографический список

1. **Гидравлические** машины и системы технического водоснабжения: Учеб. пособие / П. А. Трубаев, П. В. Беседин, Б. М. Гришко. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, БИЭИ, 2002. – 132 с.
2. **FlowVision 2.5.** Система моделирования движения жидкости и газа.

*М. В. Лопатина, студ.; Р. Н. Габитов, асп.;
рук. О. Б. Колибаба, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ

Широкое практическое применение различных высокотемпературных конструкционных и теплозащитных пористых структур требует разработки новых методов определения их теплофизических свойств. При интенсивном нагреве в таких структурах происходят сложные физические и химические процессы, которые могут значительно повлиять на характеристики внутреннего тепло- и массопереноса. Взаимосвязь таких процессов в большинстве случаев не позволяет использовать традиционные формулы для определения теплофизических свойств пористых тел.

Одним из перспективных подходов к решению этой задачи является проведение расчетно-экспериментальных теплофизических исследований, основанных на обработке экспериментальных данных методами коэффициентных обратных задач теплопроводности (ОЗТ) [1, 2], когда по результатам измерения граничных условий и температуры во внутренних точках исследуемого тела требуется восстановить неизвестные эффективные теплофизические характеристики пористого тела.

Предлагается расчетно-экспериментальный метод определения эффективного коэффициента температуропроводности пористой структуры (слоя органосодержащего сырья), не требующий знания параметров внешнего теплообмена. Эксперимент сводится к нагреву пористого образца произвольным, но монотонно изменяющимся тепловым потоком с замером кривых изменения температуры обогреваемой поверхности $T(R, \tau)$ и теплового центра $T(0, \tau)$. Обработка эксперимента осуществляется по методу дискретного удовлетворения краевых условий (ДУКУ) [3], в соответствии с которым на некотором отрезке времени τ_k решается система:

$$T\left(R, \frac{\tau_k}{g} i\right) - T\left(0, \frac{\tau_k}{g} i\right) = \sum_{n=1}^g A_n \cdot \Phi_n\left(\frac{a \cdot \tau_k}{R^2 \cdot g} i\right), \quad i = 1, 2, \dots, g \quad (1)$$

$$T\left(R, \frac{\tau_k}{g} \cdot i\right) = T_0 + \sum_{n=1}^g A_n \cdot \left(\frac{a}{R^2} \cdot \frac{\tau_k}{g} \cdot i\right)^{\frac{n}{2}}, \quad i = 1, 2, \dots, g \quad (2)$$

где значения $T\left(R, \frac{\tau_k}{g} \cdot i\right)$ и $T\left(0, \frac{\tau_k}{g} \cdot i\right)$ берутся непосредственно из экспериментальных кривых $T(R, \tau)$ и $T(0, \tau)$.

Решением систем (1) – (2) с использованием программного пакета MathCAD находится эффективный коэффициент температуропроводности в виде постоянной величины для структуры с известной порозностью. Изменяя порозность тела и повторяя эксперимент, определяется зависимость эффективного коэффициента температуропроводности от порозности.

Предлагаемый метод может быть использован в расчетах температурных полей слоя органосодержащего сырья в процессе переработки в терморекторах.

Библиографический список

1. **Алифанов О.М.** Обратные задачи теплообмена / О.М. Алифанов / М., Машиностроение. 1988. - 280 с.
2. **Алифанов О.В.,** Экспериментальные методы решения некорректных задач / О.М. Алифанов, Е.А. Артюхин, С.Я. Румянцев // М., Наука. 1988. – 288 с.
3. **Крылова Л.С.** Проектирование и эксплуатация теплотехнологических установок кузнечно-термического производства машиностроительных заводов: Учебное пособие / Л.С. Крылова // Иваново, ИГЭУ. 2001. – 96с.

*М.В. Лопатина, А.С. Никитин, студ.; рук. Е.Н. Гнездов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИЗУЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАСХОДА ВОЗДУХА В ТУННЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

При недостатке воздуха горение может быть неполным. Наличие в продуктах горения горючих составляющих (оксида углерода, водорода, метана или сажистого углерода) обуславливает химическую неполноту горения или, как чаще говорят, химический недожог топлива. Последний характеризуется потерями теплоты от низшей теплоты сгорания топлива.

Чем больше коэффициент расхода воздуха, тем полнее протекает процесс горения. Однако увеличение этого коэффициента приводит к повышенному расходу воздуха и значительным потерям теплоты с газа-

ми, уходящими из печи. Температура в печи снижается, что приводит к ухудшению теплоотдачи в рабочем пространстве. Поэтому в практике эксплуатации печей стремятся к выбору оптимального коэффициента расхода воздуха α .

Измерение коэффициента расхода воздуха проводились на туннельной печи линии «В» ЗАО «Норский керамический завод» г. Ярославль в зоне подогрева и обжига кирпича. Применялся современный и надежный газоанализатор ДАГ-500. Газоанализатор ДАГ-500 является многофункциональным измерительным прибором высокого класса точности, представляет собой законченный портативный многофункциональный прибор со средствами отбора пробы, обработки данных и регистрацией результата на дисплее, внутренней памяти прибора и выходом на ПК.

Измерения проводились в 9-ти поперечных сечениях рабочего пространства печи; в каждом сечении газ для анализа отбирался в 6-ти точках: 3 сверху, 3 снизу. Для проведения забора газа использовались существующие технологические отверстия на боковых стенах печи, отверстия для горелок на своде печи и специально просверленные для этого измерения отверстия.

Результаты, представленные на графике (см. рис. 1.), показывают, что в зонах сводовых и боковых горелок коэффициент расхода воздуха сверху, снизу и в среднем по печному каналу держится на уровне от 2,0 до 3,0 и только в сечении 7 (позиция 9) есть резкое его увеличение до 6,3 в нижней части рабочего пространства печи.

Поскольку коэффициент расхода воздуха существенно повышается только на выходе продуктов сгорания из печи (от 3,5 на поз. 3 до 7 на выходе из дымососа), то вероятно большое количество воздуха проходит вдоль всего контрольного канала под вагонетками (и это физически воспринимается как ветер) и уходит затем в дымопады в стенках печи и в дымосос. Из этого следует вывод, что перегородки под вагонетками как в начале, так и в конце печи будут эффективным средством для снижения подсосов воздуха в печь и уменьшения расхода природного газа на горелки и расхода электроэнергии на привод дымососа.

Для туннельных печей для обжига кирпича характерно большое разбавление уходящих газов подсасываемым воздухом. Коэффициент расхода воздуха по результатам газового анализа на выходе из печи за дымососом α изменялся в наших экспериментах от 6,3 до 9,0 (проектом и по наладке предусмотрен коэффициент $\alpha=7,0$), тогда как для горения достаточно иметь величину порядка $\alpha=1,15$. Интересно, что в зоне обжига анализы продуктов горения дают сравнительно небольшие значения α от 1,5 до 2,3. Это позволяет надеяться, что если удастся снизить

подсосы холодного воздуха по пути движения продуктов сгорания в зоне подогрева керамических изделий, то экономия топлива может быть большой – до 20,0 %. Такое направление экономии топлива следует, на наш взгляд, считать основным.

Для его реализации необходимо:

1) уменьшить поступление воздуха в зоны обжига и подогрева печи путем:

а) организации дозированной подачи воздуха в подвагонеточное пространство;

б) уплотнения подвагонеточного пространства со стороны выхода вагонеток из печи;

в) установки перегородок в контрольном канале;

г) регулярного осмотра и ремонта имеющихся элементов герметизации рабочего пространства печи;

2) использовать тепло уходящих газов наиболее эффективным методом (технологический вариант) за счет интенсификации теплоотдачи от горячих уходящих газов к подогреваемому кирпичному изделию. Этого можно добиться увеличением скорости движения продуктов сгорания около садки изделий, что призваны были обеспечивать рециркуляционные вентиляторы.

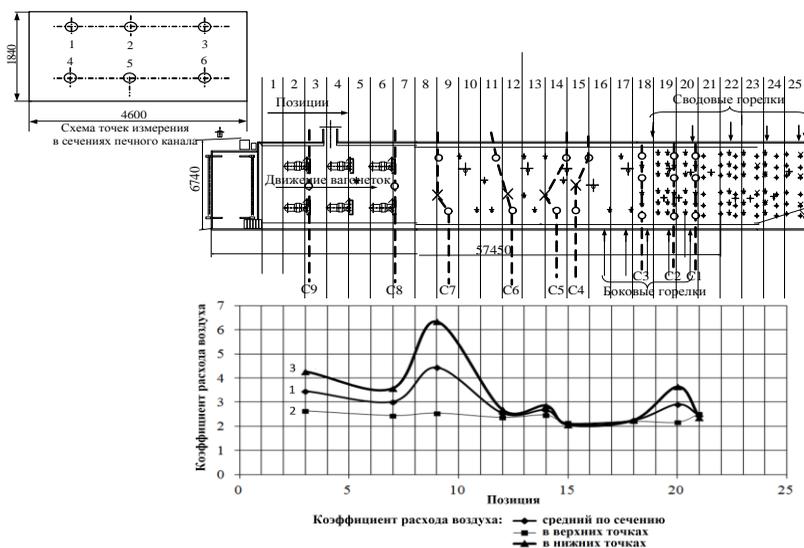


Рис. 1. Схема и результаты измерения коэффициента расхода воздуха по объему печи: С1–С9 – сечения, в которых проводились измерения; коэффициент расхода воздуха: 1 – средний по сечению; 2 – в верхних точках; 3 – в нижних точках

К.А. Долинин, студ.; рук. Д.А. Долинин, асп.;
(ИГЭУ, г. Иваново)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ И ГАЗА В ТРУБОПРОВОДАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ANSYS FLUENT

В настоящее время актуальной задачей является использование энергосберегающих технологий и совершенствование системы измерения и учета природного газа в процессе его добычи, транспортировки и использования. Несовершенство системы учета газа и невысокая точность узлов коммерческого учета являются основными причинами неэффективного использования природного газа. Один из путей выхода из данной ситуации заключается в совершенствовании средств измерения расхода газа с применением вычислительных программных комплексов.

Наибольшее распространение получили расходомеры переменного перепада давления, так как они позволяют измерять расход жидкостей, газов и пара, протекающих в трубопроводах, практически при любых давлениях и температурах. Такие расходомеры являются основным типом расходомеров для магистральных трубопроводов, что определяет их большую коммерческую значимость. До настоящего времени требования к точности измерения расхода основывались на экспериментальных данных. Экспериментальные исследования метрологических характеристик расходомеров дорогостоящи и технически трудоемки. Поэтому внедрение численных методов в анализ расходомеров переменного перепада давления является актуальной задачей.

Развитие компьютерных технологий сделало возможным использование программных пакетов для моделирования различных гидро- и газодинамических процессов. Современный уровень развития методов вычислительной гидродинамики позволяет решать с достаточной точностью многие практические задачи. К ним относятся применение расходомеров в нестандартных условиях, которые достаточно часто возникают при монтаже измерительных узлов, расширение области применения стандарта как по числу Рейнольдса, так и по типам расходомеров, исследование течений в устройствах подготовки потока, оптимальное проектирование расходомеров.

Для оценки точности модуля *ANSYS FLUENT* была создана модель расходомера Вентури по размерам лабораторного стенда на кафедре ЭТГ. Трехмерная геометрическая модель области течения жидкости в масштабе 1:1 была подготовлена в пакете *Solid Works* (рис. 1) и экс-

портирована затем в среду ANSYS Workbench. Расчетная сетка строилась в ANSYS Meshing. Расчеты производились в модуле ANSYS FLUENT. На входе в расходомер для воды задавались скорость и температура. На выходе принималось нулевое давление, то есть истечение в атмосферу.

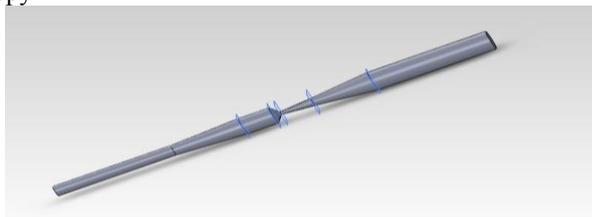


Рис. 1. Геометрическая модель области течения жидкости в расходомере Вентури

После выполнения расчетов производилась оценка скорости воды в расходомере и давления в контрольных сечениях. Результаты сравнивались с данными, полученными в ходе физического эксперимента. Модель показала высокую эффективность и точность использования комплекса ANSYS. Полученная модель предназначена для оценки эффективности работы расходомера в зависимости от скорости и режима течения. Она помогает быстро и наглядно смоделировать движение жидкости с учетом внесенных в геометрию изменений. Таким образом, модель может применяться для оптимизации конструкции расходомера. Планируется создание моделей расходомерных устройств других типов, а также моделирование движения газа и пара.

Результаты моделирования на базе программного комплекса ANSYS также могут быть использованы для разработки лабораторных работ по курсам «Гидрогазодинамика», «Нагнетатели и тепловые двигатели».

*В. Н. Фокина, студ.; рук. О. Ю. Нагорная, асп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ РАДИАЦИОННО- ЩЕЛЕВОГО РЕКУПЕРАТОРА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ FLOW VISION

Нагревательные и термические печи металлургической и машиностроительной промышленности являются одним из основных потребителей топлива в стране, причем в них, как правило, расходуют наиболее ценные сорта топлива: мазут и газ. В подавляющем большинстве

случаев промышленные печи работают с весьма низким термическим КПД величина которого в производственных условиях чаще всего не превышает 20 - 30 %, т.е. в 3 - 4 раза ниже, чем, например, КПД современных парокотельных установок. Низкий термический КПД промышленных печей обуславливается в основном очень большими потерями тепла с отходящими дымовыми газами, достигающими иногда 50 - 65% от количества тепла, подведенного в печь. Лучшим методом повышения термического КПД печей, а следовательно, и экономии топлива является возврат в печь части тепла, содержащегося в отходящих дымовых газах, подогревом в рекуператорах воздуха, используемого для горения топлива, а также подогревом горючего газа.

Наиболее важным преимуществом радиационных рекуператоров перед конвективными является возможность высокотемпературного подогрева воздуха или газа с меньшим, чем у конвективных рекуператоров, расходом жаропрочной стали в следствие большей удельной тепловой нагрузки поверхности теплообмена.

При температурах дымовых газов выше 900 - 1000°C основное количество тепла передается в рекуператорах излучением - радиацией. Отсюда и рекуператоры с преимущественно передачей тепла излучением получили название радиационных.

В промышленности применяют керамические и металлические рекуператоры, причем последние имеют ряд существенных преимуществ перед керамическими и их внедряют в промышленность все в больших масштабах.

Все шире в последние годы применяются радиационные металлические рекуператоры, в которых благодаря значительной толщине слоя излучающих газов их тепловое излучение является определяющим видом теплоперехода на дымовой стороне рекуператора.

Но на сегодняшний день существующие конструкции щелевых радиационных рекуператоров имеют значительные недостатки. Например, сложность и невозможность ремонта, неудовлетворительные массогабаритные показатели, склонность к зашкаливанию, высокая стоимость и большой срок окупаемости.

Целью работы является моделирование конструктивных решений щелевого радиационного рекуператора в программном комплексе FlowVision (рис. 1).

При моделировании в программном комплексе FlowVision изменяемыми параметрами являются размеры проходного отверстия для воздуха и высота рекуператора. Задачей является получение максимального теплового потока, передаваемого от продуктов сгорания к воздуху.

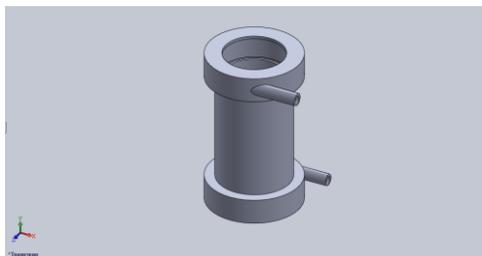


Рис. 1. Трехмерная твердотельная модель радиационно-щелевого рекуператора

Библиографический список

1. **Тибеньков Б.П.** Рекуператоры для промышленных печей. Металлургия, 1975.- 296 с.
2. URL: <http://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=513183> Дата обращения 11.03.2013
3. **Лаврентьева Е.В., Горбунов В.А.** Модель щелевого радиационного рекуператора в пакете ANSYS / Тепловые и ядерные энерготехнологии // Региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2012»: Материалы конференции. В 7 т. Т. 2 – Иваново: ФГБОУ ВПО Ивановский государственный университет им. В.И. Ленина, 2012. – 100-101 с.

*А.М. Соловьёв, студ.; рук. Д.А. Долинин, асп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS ДЛЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

В наши дни остро стоит проблема энергосбережения. Проводятся различные мероприятия по уменьшению расхода энергии, при неизменных качественных характеристиках деятельности. Значимую долю из всего расхода энергии составляет тепловая энергия. Её расход во многом зависит от потерь тепла в окружающую среду через ограждающие конструкции зданий, печей и т.д.

Целью исследования тепловых потерь через различные ограждающие конструкции в программном комплексе ANSYS является определение оптимальных конструкционных решений при проектировании.

Пакет ANSYS позволяет быстро и качественно оптимизировать уже реализованные проекты, не прибегая к аналитическому решению.

Для сопоставления результатов аналитического решения и решения в пакете ANSYS использовался пример задачи теплопроводности в бесконечной пластине (рис. 1).

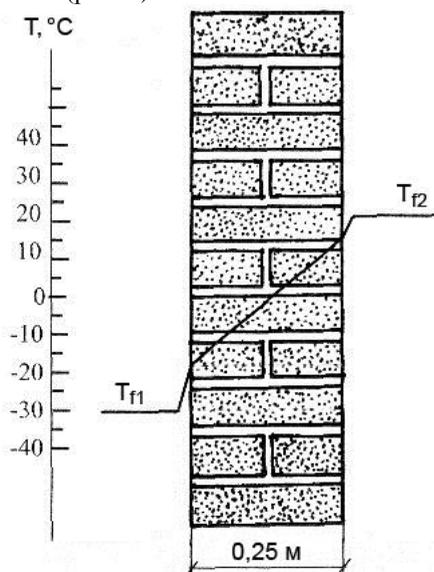


Рис. 1. Ограждающая конструкция

Постановка задачи.

Задана бесконечная пластина толщиной $R = 0,25 \text{ м}$, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,7 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, с обеих сторон пластины заданы условия конвективного теплообмена: $T_{f1} = -30 \text{ }^\circ\text{C}$, $\alpha_1 = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$, $T_{f2} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\alpha_2 = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$.

Определить удельный тепловой поток, проходящий через пластину.

Математическое моделирование в ANSYS позволяет учитывать различные конфигурации ограждающих конструкций, их строительные особенности и материал. Так же позволяет быстро и точно вести расчет при комбинации нескольких материалов и слоев в ограждающих конструкциях. Использование данной методики позволит оптимизировать конфигурацию ограждающих конструкций, что подразумевает уменьшение тепловых потерь в окружающую среду.

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

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ С ПОДПODOVЫМИ ТОПКАМИ ИВАНОВСКОГО ЗАВОДА ТЯЖЕЛОГО СТАНКОСТРОЕНИЯ

Теплотехнологическое оборудование термического цеха Ивановского завода тяжелого станкостроения предназначено для термообработки металла, поступающего из механических и кузнечного цехов, и включает три газовые теплотехнологические установки (ТТУ). В данной работе рассматривается теплотехнологическая установка, представляющая собой камерную термическую печь с подподовыми топками, предназначенная для нагрева металла под закалку (ТТУ №1) [1]. Нагревательные термические печи работают в садочном режиме по односменному и по трехсменному графику. ТТУ №1 работает в дежурном режиме, загрузка и выгрузка металла осуществляется вручную.

Целью работы является разработка геометрической и математической модели камерной термической печи завода тяжелого станкостроения для нагрева металла под закалку в программном комплексе *ANSYS* и разработка рациональных технологических режимов нагрева.

В работе для моделирования используется программный комплекс *ANSYS Fluent* для этого необходимо построить твердотельную модель камерной нагревательной печи в CAD пакете *SolidWorks*.

Постановка задачи:

Печь имеет размер рабочего пространства 0,752 x 1,34 x 1,392 м. На момент испытаний в печи нагревалось 28 заготовок разными размерами из стали 45 общей массой 180 кг. Печь работает в дежурном режиме, поэтому заготовки были загружены в разогретую печь. Один цикл включает: нагрев металла до температуры 1173 К (время нагрева 0,75 ч), выдержку металла (время выдержки 2 ч). Начальная температура металла составляла 293 К.

В ходе решения задачи необходимо найти распределение температурных полей газа, кладки печи и металла в конце периода нагрева и сравнить с экспериментальными данными [2].

Модель предполагается использовать для получения рациональных режимов нагрева металла.

Библиографический список

1. Карпова О.А. Разработка режимов работы печей кузнечного производства машиностроительного предприятия в программном комплексе *ANSYS*: Дип. Иваново, 2012. – 160 с.

2. **Крылова Л.С., Горбунов В.А.** Отчет «Разработка мероприятия по совершенствованию теплового оборудования и энергоиспользования на ИСПО», Иваново, 1986. – 90 с.

*А. В. Андреев, студ.; Н. П. Гусенкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ПЕТЛЕВОГО РЕКУПЕРАТОРА В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS И ОЦЕНКА ЕГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

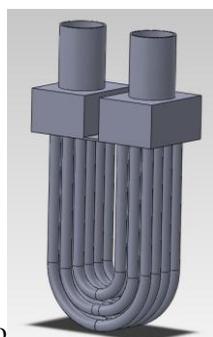
Целью работы являлось разработка геометрической модели рекуператора, постановка задачи теплообмена и тепловой расчет в вычислительном комплексе ANSYS и оценка энергетической эффективности.

В качестве устройств, использующих вторичные энергоресурсы (теплоту уходящих газов), применяются рекуператоры, регенераторы и котлы-утилизаторы. Для подогрева воздуха применяются рекуператоры и регенераторы.

Для подогрева воздуха рекуператоры из гладких труб применяются в основном на крупных нагревательных печах, имеющих высокую температуру дымовых газов, где нецелесообразно устанавливать термоблоки вследствие их чрезвычайной громоздкости. На заводах черной металлургии, машиностроения и других отраслях промышленности наибольшее распространение получили так называемые «петлевые» рекуператоры из гладких стальных труб. Такие рекуператоры устанавливаются за печами в дымоотводящем канале.

Основным преимуществом конструкции петлевого рекуператора является свободная самокомпенсация температурного расширения каждой трубы (петли) в отдельности. Немаловажным преимуществом данного рекуператора является его простота в обслуживании, быстрый монтаж на рабочее место. Недостатком конструкции петлевого рекуператора является то, что все трубные петли по направлению движения дымовых газов имеют разную длину. Отсюда и разные аэродинамические сопротивления, отчего наружные петли блока самые теплонагруженные с дымовой стороны, в них поступает меньше воздуха, чем в остальные петли.

Геометрическое моделирование петлевого рекуператора расположенного в дымоотводящем канале было выполнено в пакете 3D моделирования SolidWorks (рис. 1. а, б).



а) б)

Рис. 1. Геометрическая модель, выполненная в SolidWorks

Построенную модель для расчета интегрировали в вычислительный комплекс ANSYS. Для расчета данной модели нам необходимо задать некоторые условия, а именно: задать начальные условия, граничные условия теплообмена, физические и гидравлические параметры сред и материалов из которых выполнены теплообменный аппарат и дымоотводящий канал, а также временем теплообмена.

В результате первичного расчета 1 петлевого элемента расчета получаем температурное поле на входе в петлевой элемент и на выходе из него (рис 2. а, б).

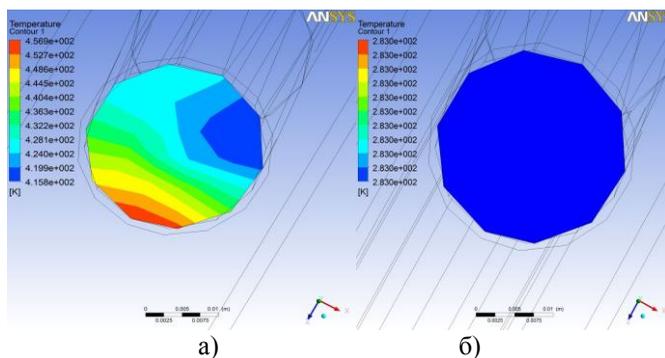


Рис.2. Температурные поля во входном (а) и выходном (б) сечениях петли рекуператора

В данной работе будет рассчитано несколько петель рекуператора, в которой можно будет оценить влияние геометрии пучка труб и энергетическую эффективность установки. На первом этапе была построе-

на геометрическая модель трех петлевых элементов рекуператора помещенных в дымоотводящий канал (рис. 3).

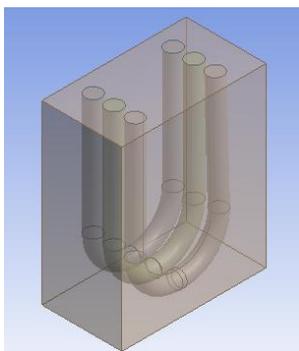


Рис. 3. Геометрическая модель трех петлевых элементов помещенных в дымоотводящий канал

Далее была построена расчетная сетка для данной геометрической модели (рис. 4).

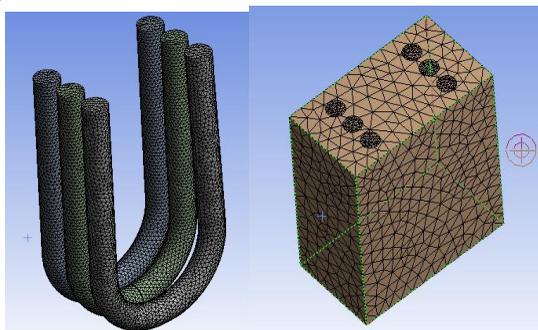


Рис. 4. Расчетная сетка

Данную модель можно использовать для расчета режимов работы рекуператора при внесении конструктивных изменений, которые смогут улучшить тепловые показатели рекуператора и определения энергетической эффективности устройства.

Библиографический список

1. **Андреев А.В.,** Гусенкова Н.П. Моделирование тепловой работы петлевого рекуператора в вычислительном комплексе ANSYS / Тепловые и ядерные технологии. Седьмая региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных. Энергия 2012. – Иваново: ФГБОУ ВПО «ИГЭУ имени В.И. Ленина». Т.2.- С.113-116

*А.А. Поцелуев, студ.; рук. О.Ю. Назорная, асп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ДОМЕННОГО ГАЗА НА ОАО «СЕВЕРСТАЛЬ»

Газовый цех ОАО «Северсталь» предназначен для подготовки газа, а именно снижение давления до нужных параметров, очистка газа и подача его к потребителю.

Газовая утилизационная бескомпрессорная турбина (ГУБТ-12) размещена в непосредственной близости от доменной печи № 4, а газовая утилизационная бескомпрессорная турбина (ГУБТ-25) – от доменной печи № 5 на территории газового цеха.

Доменный газ поступает от доменных печей № 4 и № 5 в газовые очистки № 4 и № 5, где освобождается от пыли.

Очистка доменного газа от пыли производится последовательно в трех ступенях:

- грубая очистка газа до массовой концентрации пыли от 3 до 5 г/м³ в сухих радиальных пылеуловителях;
- полутонкая очистка газа с массовой концентрацией пыли от 30 до 50 мг/м³ в скрубберах;
- тонкая очистка газа до массовой концентрации пыли в пределах от 2 до 10 мг/м³ в трубах Вентури и дроссельных группах.

После газоочистки № 4 доменный газ частично направляется на ГТРС № 1, где поступает через влагоотделитель на газовый смешивающий теплообменник. В газовом смешивающем теплообменнике доменный газ подогревается от 40 °С до 120 °С за счёт своего смешения с продуктами горения. Продукты горения получают при сгорании части доменного газа в дутье (обогащённом кислородом воздухе). В результате смешения незначительно изменяется состав доменного газа и его абсолютное влагосодержание. Хотя относительное влагосодержание за счёт повышения температуры значительно понижается. Затем нагретый газ направляется в турбину ГУБТ-12, после которой его давление снижается до необходимого давления. После турбины снижается и температура доменного газа, так как от газа отводится энергия до 68-70 °С.

С газоочистки № 5 доменный газ полностью направляется на ГТРС № 2, и его кинетическая энергия используется в турбине ГУБТ-25. Температура доменного газа, который поступает на турбину ГУБТ-25, составляет около 40 °С. Относительная влажность доменного газа после газоочистки составляет $\varphi=100\%$. При своём прохождении через

турбину температура газа уменьшается, и водяные пары конденсируются. Конденсат отводится из турбины в лоток оборотного водоснабжения газовой очистки № 5. Затем охлаждённый газ с влажностью $\varphi=100\%$, но абсолютная влажность намного меньше направляется в межщелевой коллектор доменного газа.

Таким образом, доля использования доменного газа для выработки электроэнергии после доменных печей № 4 – 83,2 %, № 5 – 100 %.

Тепловая схема ГТРС № 1 основана на использовании двух видов энергии: кинетической энергии давления доменного газа для производства электроэнергии и химической энергии топлива для увеличения объёма энергоносителя перед турбиной за счёт повышения его температуры в смешивающем газоподогревателе. При такой схеме осуществляется частичная регенерация тепла химической энергии топлива для дополнительного производства электроэнергии. К недостаткам этой схемы можно отнести ухудшение доменного газа. Частичное снижение теплотворной способности за счёт снижения горючих составляющих после подмешивания в газ продуктов сгорания после смешивающего газоподогревателя. Также повышенная влажность топлива, которая определяется температурой доменного газа после газоочистки. Дополнительное технологическое оборудование смешивающий газоподогреватель. При такой схеме появляется необходимость учёта двух топливных составляющих: количества газа проходящего через турбину и топлива затрачиваемого на горение в СГП.

Тепловая схема ГТРС № 2 основана на использовании кинетической энергии доменного газа для производства электроэнергии. При такой схеме дополнительная регенерация тепловой энергии отсутствует. Доменный газ после газоочистки с влажностью 100% и температурой более 40 °С поступает в турбину ГУБТ 25, где расширяется с понижением температуры на 20-25°С. Во время расширения влага содержащаяся в доменном газе конденсируется и отводится из рабочей части турбины. Энергия, которая тратится на конденсацию доменного газа, весьма значительна, составляет около 60%. К достоинствам этой схемы можно отнести повышение качества доменного газа после турбин за счёт существенного снижения абсолютной влажности доменного газа. К недостаткам схемы относится отсутствие тепловой регенерации газа перед турбиной и выделение капельной влаги в проточной части турбины, что негативно сказывается на эрозии лопаток турбины.

Цель работы: произвести оценку эффективности использования энергии доменного газа в газовом цехе при прохождении его от доменной печи через газоочистку и турбину до потребителя.

Для оценки эффективности использования энергии доменного газа в газовом цехе используется коэффициент полезного действия брутто, который позволяет оценить эффективность утилизации энергии доменного газа для производства электрической энергии в процессе доставки его от доменных печей до потребителя [1,2].

Для нормирования энергетических характеристик турбины необходимо контролировать количество доменного газа, которое затрачивается на выработку одного киловатт-часа электроэнергии. Удельный расход энергоносителя на производство электрической энергии определяется по формуле [1].

При обработке полученных результатов получили, что с увеличением выработки энергии брутто доменными печами возрастает мощность турбины. Повысить выработку энергии брутто доменными печами возможно за счет увеличения температуры доменного газа перед турбиной.

Повысить температуру насыщенного газа перед ГУБТ можно тремя способами: повышение температуры охлаждающей воды на газоочистке, сокращением ее расхода, подачей пара низких параметров в доменный газ перед ГУБТ.

Первый из рассматриваемых способов прост и реализуется путем полного или частичного отключения градиен оборотного цикла водоснабжения. Повышение температуры охлаждающей воды при неизменном ее расходе приводит к снижению перепада температур между доменным газом и водой, уменьшению количества тепла, отдаваемого газом, и, следовательно, повышению его температуры на выходе из скруббера. Таким образом, температура доменного газа за скруббером, при которой установится термодинамическое равновесие, будет зависеть от температуры газа на выходе из доменной печи, его давления, влагосодержании, температур охлаждающей воды, окружающей среды и др.

Применение второго способа связано со значительным сокращением расхода охлаждающей воды на газоочистку и, следовательно, с изменением как самой газоочистки (установка малогабаритных скрубберов), так и оборотного цикла водоснабжения.

Третий способ повышения температуры насыщения доменного газа перед турбиной не затрагивает аппаратов газоочистки и требует незначительных капитальных затрат на паропровод. Применение его ограничено в основном только наличием источника утилизационного пара, местом его расположения и должно быть обосновано технико-экономическим расчетом.

Для различных режимов работы турбины коэффициент полезного действия брутто получается равным в пределах 6 – 25 %. Существует возможность его повышения за счет увеличения мощности турбины и снижения потерь с потенциальной и физической энергией доменного газа за счет оптимизации режимов работы газоочистки и турбины.

Библиографический список

1. Горбунов В.А., Нагорная О.Ю. Определение эффективности утилизации доменного газа // Промышленная энергетика. – 2011. – №10. – С. 47–51.
2. Котов А.Л., Нагорная О.Ю. Оценка эффективности использования энергии доменного газа / Тепловые и ядерные энерготехнологии // Региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2012»: Материалы конференции. В 7 т. Т. 2 – Иваново: ФГБОУ ВПО Ивановский государственный университет им. В.И. Ленина, 2012. – 86-89 с.
3. Нагорная О.Ю., Горбунов В.А., Горинев О.И. Анализ схем изменения характеристик доменного газа до заданных параметров / Состояние и перспективы развития электротехнологии. XVI Бенардосовские чтения: Сборник научных трудов международной научно-технической конференции. – Иваново: ГОУ ВПО «ИГЭУ имени В.И. Ленина», 2011. Т.2. – С. 207-210.\

*А. В. Андреев, студ.; Н. П. Гусенкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

К РАСЧЕТУ НАГРЕВА ПОРИСТОЙ САДКИ

Термические печи с выкатным подом используются в металлургии и машиностроение для нагрева металла под нормализацию, улучшение, отжиг, высокий отпуск. Печь работает в садочном режиме цикла. Включение печи производится после загрузки металла. Печь отапливается природным газом. Продукты горения отводятся через вытяжной зонт.

В термической печи с выкатным подом производится нагрев сложной садки, состоящей из сравнительно мелких заготовок различной формы помещенных в контейнеры.

Так как размеры заготовок значительно меньше размеров садки, её можно рассматривать как трехмерное пористое тело, которое представляет собой изотропный континуум с эффективными теплофизическими свойствами, учитывающими наличие пор и их роль в переносе теплоты, и определяемые экспериментально или по формулам[1].

В целях упрощения расчёта нагрева садки разработан программный модуль, учитывающий влияние структурного состояния на теплофизические свойства металла при изменении температуры, зависимость теплофизических свойств продуктов горения от температуры, получе-

ны интерполяционные формулы для их расчёта. В качестве примера приведём результаты для садки с пористостью $f=0,63$. Твёрдая матрица пористого тела представляет собой заготовки из стали 20, газовая среда, заполняющая поры - продукты горения природного газа заданного состава.

Так как садка нагревается до температуры 1000 °С, а при температуре 800 °С происходит изменение структурного состояния твёрдой матрицы (фазовый переход α -железа в γ -железо), соответственно садка будет иметь разные зависимости теплофизических свойств от температуры в интервале температур от 0°С до 800 °С и в интервале температур от 800°С до 1000 °С.

В интервале температур от 0°С до 800 °С эффективная теплоемкость описывается зависимостью: $C(T) = 0,9658T + 1823,2556$. В интервале температур от 800°С до 1000 °С: $C(T) = - 0,0021 \cdot T^2 + 3,414 \cdot T + 1351,8$.

Эффективная теплопроводность садки при температурах:

от 0°С до 800 °С: $\lambda(T) = 0,0000028 \cdot T^2 - 0,05475 \cdot T + 17,3322$;

от 800°С до 1000 °С: $\lambda(T) = 0,0251 \cdot T + 5,0367$.

Эффективная плотность садки является функцией температуры:

от 0°С до 800 °С: $\rho(T) = -0,1656 \cdot T + 4053,9$;

от 800°С до 1000 °С: $\rho(T) = 0,25 \cdot T + 4138,6$.

Разработана программа, позволяющая получить интерполяционные формулы для определения эффективных теплофизических свойств пористой садки в целях упрощения расчёта её нагрева.

Библиографический список

1. Гусенкова Н.П., Крылова Л.С., Коротин А.Н. Математическое моделирование нагрева сложной садки в термической печи // Межвузовский сборник науч. тр. «Энергосбережение и экология в теплотехнических системах»/ Иваново: ИГЭУ, 1999. – с.123-128.

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

СЕЗОННАЯ АККУМУЛЯЦИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

В большинстве стран мира количество солнечной энергии, попадающее на крыши и стены зданий, намного превышает годовое потребление энергии жителями этих домов. Использование солнечного света и тепла – экологичный, простой и естественный способ получения

всех форм необходимой нам энергии.

Главным компонентом установки по использованию солнечной энергии является солнечный коллектор. Чаще всего используются плоские коллекторы, состоящие из пластины-поглотителя (абсорбера), на которой солнечная радиация превращается в тепло и передается жидкости-теплоносителю, теплоизоляции и контейнера, который все это содержит.

Вторым по значению компонентом является бак-аккумулятор тепловой энергии в виде горячей воды. Наиболее эффективен вертикальный бак с градиентом температуры по высоте, при этом холодная вода на входе не смешивается с горячей водой в верхней части бака. При наличии горизонтального бака производительность системы снижается на 10-20%.

Тепло из солнечного коллектора передается воде в баке с помощью теплообменника. В качестве теплообменника обычно используется змеевик на дне бака либо оболочка вокруг бака с жидкостью-теплоносителем. В системах с естественной циркуляцией и малыми потоками жидкости обычно используется оболочка. В случае малых потоков жидкость-теплоноситель медленно протекает через оболочку бака-накопителя, что позволяет добиться градиента температуры жидкости в оболочке в соответствии с распределением в баке. Благодаря этому улучшается теплообмен, а значит, возрастает эффективность по сравнению с традиционными системами.

Если установить коллектор большой площади, можно обеспечить отопление сразу нескольких домов. Однако основная проблема солнечной энергетики связана с тем, что энергия нужна в основном зимой, когда количество солнечной радиации мало, и, напротив, большая часть летнего потенциала не используется по причине отсутствия спроса. Поэтому вложение капитала в крупные коллекторы большой производительности неэффективно.

Однако есть и такие установки, которые позволяют зимой использовать тепло, накопленное летом солнечными коллекторами и сохраненное при помощи больших аккумулирующих баков. Здесь проблема заключается в том, что количество жидкости, необходимое для обогрева дома, сопоставимо с объемом самого дома. Вдобавок, хранилище тепла необходимо хорошо изолировать. Чтобы обычный домашний бак-накопитель сохранил большую часть тепла в течение полугода, его пришлось бы обернуть в слой изоляции толщиной несколько метров. Поэтому выгодно делать объем накопительной емкости очень большим. Поэтому снижается отношение площади поверхности к объему.

Крупные солнечные установки центрального отопления используются в Дании, Швеции, Швейцарии, Франции и США. Солнечные модули устанавливают прямо на земле. Без хранилища такая солнечная отопительная установка может покрыть около 5% годовой потребности в тепле, так как установка не должна вырабатывать энергии больше, чем потребляется, включая потери в районной системе отопления (до 20% при передаче). Если есть оборудование для хранения дневного тепла в ночное время, то солнечная отопительная установка может покрывать 10-12% потребности в тепле, а с сезонным хранением тепла - до 100%. Существует также возможность комбинирования районного отопления с индивидуальными солнечными коллекторами. Районная система отопления отключается на летний период, когда нет потребности в отоплении, а горячее водоснабжение обеспечивается солнечной энергией.

Крупные системы сезонного аккумулирования тепла в жилом секторе уже работают в нескольких странах, но по-прежнему остаются довольно дорогими. Размеры центрального хранилища варьируют от нескольких тысяч до нескольких сотен тысяч кубических метров. Крупнейшее в Европе хранилище такого рода расположено в городе Оулу (Финляндия). Оборудованное в гигантской каменной пещере объемом в 200 000 м³, оно будет подключено к теплоэлектроцентрали, работающей на биомассе.

Еще один успешный проект сезонного хранения горячей воды находится в городе Люкебо (Швеция). Здесь используют скальную пещеру, наполненную водой (объемом 105 000 м³) и плоские солнечные коллекторы площадью 28 800 м², которые поставляют 100% необходимой энергии (8500 МВт·ч/год) для горячего водоснабжения и отопления 550 домов. Все эти дома подключены к коммунальной системе районного отопления. Температура воды, подаваемой потребителям, составляет 70 градусов Цельсия, а возвратной воды - 55 градусов.

Сезонное аккумулирование солнечной энергии выгодно и с экологической точки зрения, т.к. собранное солнечными коллекторами тепло заменяет энергию, произведенную при помощи загрязняющих окружающую среду технологий. В этом состоит главный экологический эффект солнечной энергетики. Обычно солнечные коллекторы устанавливают на крышах зданий, при этом они не оказывают никакого влияния на вид и экологию данной местности. Энергия, затраченная на производство солнечного коллектора, равна энергии, которую коллектор производит в течение 1-4 лет.

Как бы ни была сложна проблема создания крупных экономически эффективных солнечных электростанций, нет непреодолимых препятствий на пути ее решения. Наступила пора создания материально-технической базы для планомерного освоения неиссякаемой по потенциальным ресурсам и экологически чистой солнечной энергии.

*М.А. Тюкова, студ.; рук. Д.А. Долинин, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА МЕТАЛЛА С ПОМОЩЬЮ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ANSYS И COMSOL MULTIPHYSICS

Благодаря развитию систем инженерного анализа (CAE) сегодня инженеры во многих отраслях промышленности все чаще проводят виртуальные испытания разрабатываемых изделий. Специалисты стремятся максимально приблизить виртуальные эксперименты к реальности и получить наиболее адекватные результаты путем учета всех возможных технических деталей в расчетной модели.

В работе моделируется процесс нагрева металла в камерной печи. Для оценки точности, а также для сравнительного анализа, исследования проводились с помощью вычислительных программных комплексов *ANSYS* и *COMSOL MULTIPHYSICS*. Целью являлось выявление более эффективного и точного результата решения задачи.

Для расчета данной модели задавались начальные условия, граничные условия теплообмена, физические и гидравлические параметры газовой среды и свойства нагреваемого металла.

После построения математических моделей был произведен сравнительный анализ полученных результатов и их оценка путем сопоставления с аналитическим решением.

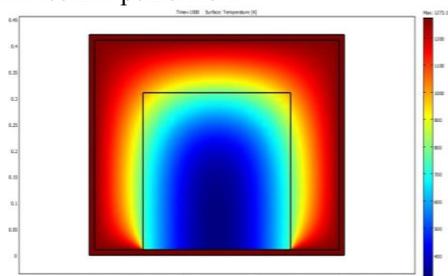


Рис. 1. Распределение температур по сечению нагреваемого металла (COMSOL)

Моделирование и анализ с помощью этих программ в некоторых областях промышленности позволяет избежать дорогостоящих и длительных циклов разработки типа «проектирование — изготовление — испытания», а в учебном процессе позволяет более точно и наглядно передать суть теплофизических процессов.

*И. А. Скворцов, студ.; рук. Н.П. Гусенкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ СЕТОЧНЫМИ МЕТОДАМИ

Процесс нагрева широко используется в теплотехнологии различных отраслей промышленности. Целью работы является моделирование температурного поля пластины в процессе нагрева при граничных условиях первого, второго и третьего рода сеточными методами и их сравнение с точными аналитическими решениями. Задача нагрева пластины решалась методом конечных разностей и методом конечных элементов. Полученные результаты сопоставлены с точными аналитическими решениями задачи теплопроводности при граничных условиях первого, второго и третьего рода.

В качестве примера представлены результаты расчета температурного поля пластины из стали 20 толщиной $R = 0,3$ м при заданной температуре поверхности $T(R, \tau) = 1200^\circ\text{C}$ и адиабатических условиях нагрева на поверхности $x = 0$. Коэффициент теплопроводности $\lambda = 37,072$ Вт/(м·К), теплоемкость $c = 5,2 \cdot 10^6$ Дж/(м³·К). Начальная температура тела $T(x, 0) = 20^\circ\text{C}$. Время нагрева $\tau = 3600$ с.

На рис. 1 показано изменение температуры в тепловом центре пластины в течение времени τ , полученное методом конечных разностей, методом конечных элементов и в результате точного аналитического решения.

При сопоставлении полученных решений с точным аналитическим решением получили относительную погрешность: $\delta_{к.р} = 5,524$ % ; $\delta_{к.эл} = 5,44$ %.

На рис. 2 представлены результаты расчета температурного поля пластины из стали 20 толщиной $R = 0,3$ м при заданном тепловом потоке $q(R, \tau) = 105$ Вт/м² и адиабатических условиях нагрева на поверхности $x = 0$. Коэффициент теплопроводности $\lambda = 37,072$ Вт/(м·К), теплоемкость $c = 5,2 \cdot 10^6$ Дж/(м³·К). Начальная температура тела $T(x, 0) = 200^\circ\text{C}$. Время нагрева $\tau = 3600$ с.

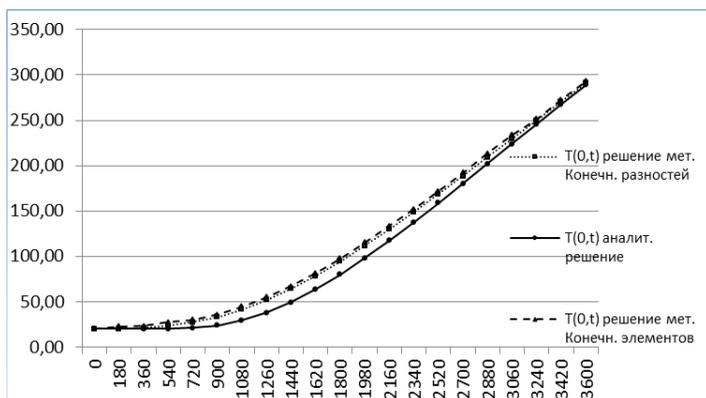


Рис. 1. Изменение температуры в тепловом центре пластины при заданном г.у. 1 рода

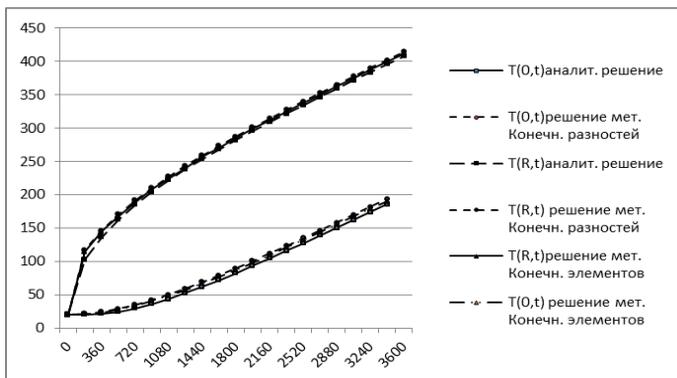


Рис. 2. Изменение температуры в тепловом центре пластины при заданном г.у. 2 рода

На рисунке показаны изменение температуры пластины в тепловом центре и на поверхности, рассчитанное методом конечных разностей, методом конечных элементов и при помощи аналитического решения. В результате сопоставления решения полученная относительная погрешность составила $\delta_{к,р} = 6,32 \%$, $\delta_{к,эл} = 5,83\%$.

Расчет нагрева этой же пластины с начальным температурным полем $T(x, 0) = 20^{\circ}\text{C}$ в течение времени $\tau = 3600\text{c}$ при заданной температуре греющего газа $T_{г} = 1100^{\circ}\text{C}$ и коэффициенте теплоотдачи $\alpha = 100 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ с одной стороны и адиабатических условиях нагрева с другой проиллюстрирован рис 3.

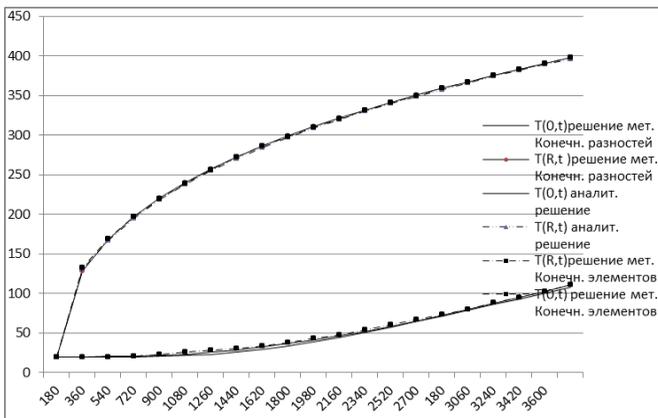


Рис 3. Изменение температуры пластины в тепловом центре и на поверхности, рассчитанное при помощи метода конечных разностей, методом конечных элементов и точного аналитического

При сопоставлении этих решений относительная погрешность составила $\delta_{к.р} = 2,86\%$; $\delta_{к.эл} = 2,53\%$.

В данной работе разработана математическая модель нагрева неограниченной пластины при граничных условиях 1-го, 2-го и 3-го рода. Сопоставлены температуры в тепловом центре и на поверхности, рассчитанные методом конечных разностей и методом конечных элементов с точным аналитическим решением. Исследована зависимость точности решения от величины шагов по пространству и по времени.

Библиографический список

1. **Лыков А. В.** Теория теплопроводности - Учебное пособие. - М.: Высшая школа, 1967. - с. 600.
2. **Самарский А.А., Гулин А.В.** Численные методы. М.: Наука, 1989. - 432 с.

*М.С. Шагалова, студ.; рук. Н.П. Гусенкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ С ВЫКАТНЫМ ПОДОМ

Печь с выкатным подом – это промышленная печь, в которой подвергаются термической обработке металл в виде массивных заготовок или контейнеры с мелкими деталями на футерованной тележке, выка-

тываемой из печи на роликах или скатах по рельсовому или желобчатому пути. По режиму работы печи с выкатным подом. относятся к камерным печам периодического действия. Печи отапливаются природным газом с помощью горелок, установленных в продольных стенках в 1-2 ряда по высоте печи. Рабочая температура печи с выкатным подом может изменяться в широких пределах: $500 \div 1150^{\circ}\text{C}$. Термические печи с выкатным подом часто встречаются на машиностроительном и металлургическом производстве.

Целью данной работы является моделирование термической печи и оценка ее функциональности.

Для решения этой задачи была построена геометрическая модель термической печи с выкатным подом в пакете САПР *Solid Works*. В процессе работы были построены модели: рабочего пространства печи (рис. 1), футеровки с системой дымовых каналов (рис. 2,3) и выкатного пода (рис. 4). Все элементы выполнены в трехмерном виде и скомпонованы. На следующем этапе модель переносится в пакет ANSYS, где задаются начальные и граничные условия и выполняются все необходимые расчеты.

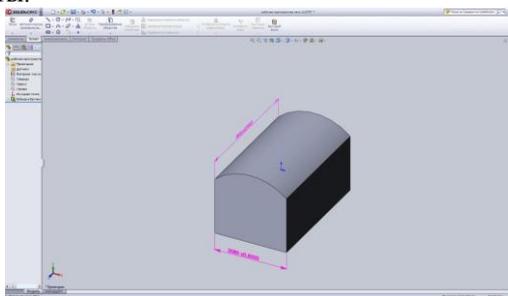


Рис. 1. Модель рабочего пространства печи в пакете Solid Works

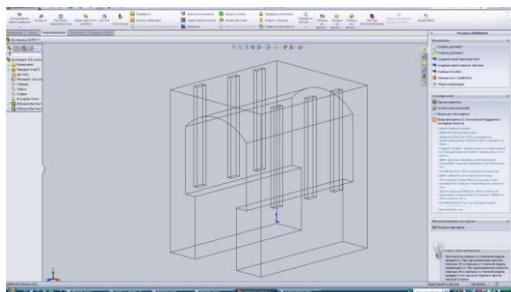


Рис. 2. Создание модели футеровки с системой дымовых каналов

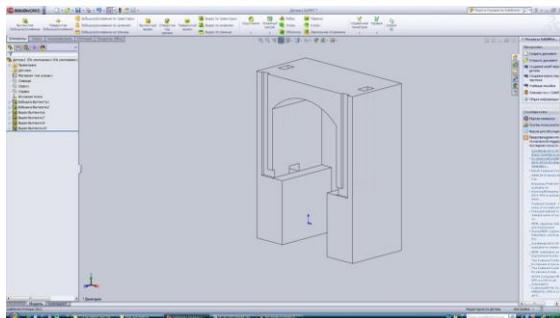


Рис. 3. Модель футеровки в поперечном сечении

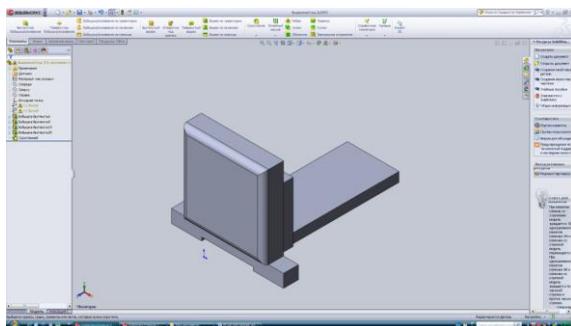


Рис. 4. Модель выдвижного пода

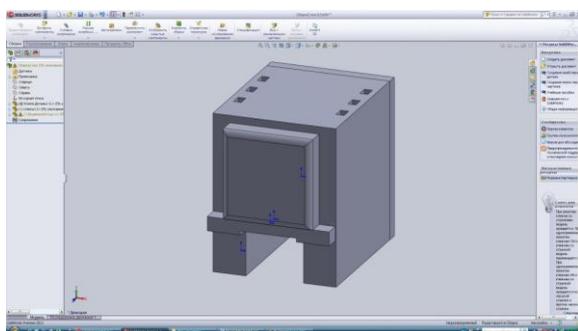


Рис. 5. Сборочная модель печи

СЕКЦИЯ 11

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ТЕХНОСФЕРЕ

*Председатель – д. т.н., проф. А.К. Соколов
Секретарь – студ. Н.В. Черемисова*

*Е.Н. Гусева, Т.А. Рыбалко, студенты; рук. Г.В. Попов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ СТЕНДОВ ЛАБОРАТОРИИ «ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ» КАФЕДРЫ БЖД

В связи с новым федеральным государственным общеобразовательным стандартом высшего профессионального образования, организация учебного процесса требует внедрения новых форм и методов обучения, повышения аудиторной и внеаудиторной самостоятельной работы студентов.



Рис.1. Электротехнические защитные средства

Была проведена работа по модернизации учебных стендов (рис.) с целью привлечения абитуриентов и повышения уровня подготовки выпускников нашей кафедры.

Задача подготовки высококвалифицированных кадров, вооруженных современными знаниями, практическими навыками, является одной из важнейших задач учебного процесса. Поэтому есть необходимость приложения максимальных усилий для совершенствования содержания обучения, средств и методов подготовки специалистов.

Одним из направлений, по которому должно идти это совершенствование, является развитие и укрепление

ние материально-технической базы кафедры БЖД. Сюда относятся, в первую очередь, широкое внедрение технических средств обучения, оснащение лабораторий и кабинетов новейшим оборудованием и приборами, модернизация лабораторных стендов и макетов, с учетом последних достижений науки и техники на современной компонентной базе.

Выполнение учащимися лабораторных работ является важным средством более глубокого усвоения и изучения учебного материала, а также приобретения практических навыков по экспериментальному исследованию и обращению с приборами. Также, немаловажной задачей является привлечь выпускников школ и вызвать интерес учить у нас. Для достижения этой цели постарались отобразить разнообразие, как учебного процесса, так и досуга студентов.

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

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИОТЕЛЕФОНОВ НА ЧЕЛОВЕКА

Одной из особенностей жизни современного человека является наличие вокруг него большого количества оборудования бытового и производственного назначения, генерирующего электромагнитные поля широкого диапазона частот и интенсивностей. К такому оборудованию, несомненно, относится радиотелефон (не путать с мобильным телефоном, официальное наименование которого «переносная станция сотовой связи»). Радиотелефон включает в себя базовый блок, устанавливаемый стационарно, подключенный и к телефонной и к электрической сети, и телефонную трубку, которая позволяет вести разговор, находясь на расстоянии до 50 м от базового блока. Естественно, что для обеспечения связи базового блока и телефонной трубки последняя должна излучать электромагнитное поле достаточной интенсивности. По данным паспортов на радиотелефоны ведущих фирм-производителей мощность, излучаемая передатчиком трубки, колеблется в зависимости от расстояния до базового блока и режима передачи в диапазоне от 10 мВт (вблизи базового блока при включенном режиме «ЭКО») до 250 мВт (вдали от базового блока при выключенном режиме «ЭКО»). Оценим интенсивность электромагнитного воздействия трубки на человека в нескольких ситуациях: при нахождении её вдали и вблизи от базового блока, а также при использовании громкоговорящей связи или работе трубки в обычном режиме.

Поскольку передача информации происходит на частоте 1900 МГц, то длина волны $\lambda \approx 16$ см и, следовательно, при традиционном использовании телефонной трубки (прижата к уху) расстояние от излучателя (антенны) до головного мозга будет около 2 см. В этом случае мозг будет находиться в так называемой зоне индукции излучателя, и параметры плотности потока энергии ЭМП следует рассчитывать исходя из теории «ближнего поля». Эта теория предполагает, что на малых расстояниях от излучателя форма ЭМП будет геометрически подобна форме излучателя. В самом деле, каждая точка антенны излучает ЭМП, которое удаляется от неё в перпендикулярном направлении с одинаковой скоростью. Следовательно, если излучатель есть стержень длиной l (диаметром, поскольку он мал, пренебрегаем), а контрольная точка находится на расстоянии r , то форма ЭМП в этом месте – цилиндр радиусом r и высотой $r+2l$. В этом случае плотность потока энергии ЭМП определится как:

$$П = \frac{P}{S} \text{ Вт/м}^2,$$

где: P – излучаемая мощность, Вт;

S – полная площадь поверхности цилиндра, м^2 .

Если абонент при разговоре использует громкоговоритель, то он может находиться от излучателя трубки на значительном расстоянии, например 50 см, т.е. при указанной длине волны – в волновой зоне. В этом случае плотность потока энергии ЭМП определится по аналогичному соотношению, но S будет равна площади поверхности сферы радиуса 50 см. Данная модель не учитывает неравномерность излучения в разных направлениях, характеризуемую показателем (фактором) направленности, значение которого в данной ситуации просто неизвестно и не может быть определено с приемлемой точностью теоретически. Его значение приходится принимать равным 1, что несколько занижает получаемые значения плотности потока энергии ЭМП, особенно при традиционном использовании трубки.

Расчеты выполнены для нескольких ситуаций – режима ЭКО и максимальной мощности излучения, традиционного расположения трубки (вблизи уха) и при использовании громкоговорящей связи. Результаты анализа интерпретированы в соответствии с действующими нормативными документами - «Электромагнитные поля в производственных условиях. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.2.4.1191-03». Указан наиболее безопасный способ использования радиотелефонов.

*И.С. Тюленев, студ.; рук. Г.В. Попов д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ БАКОВ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ВНУТРЕННИХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Для трансформаторов класса напряжения 35 кВ мощностью до 10000 кВА в последнее время весьма распространенной стала тенденция компенсации температурного расширения масла посредством изготовления бака, меняющего свой внутренний объем. Такой бак получил название гофробака, поскольку его стенки выполнены в виде «гармошки», т.е. по периметру бака расположены так называемые гофры.

В данном случае тепловое расширение масла компенсируется не с помощью расширителя, а упругими деформациями тонкостенных гофрированных металлических пластин бака. Характерной особенностью данного типа маслонаполненного оборудования является изоляция внутреннего объема бака трансформатора от окружающей среды, что значительно улучшает условия работы масла, практически исключает его увлажнение, окисление и шламообразование. При этом обязательным условием качественного исполнения герметичных трансформаторов также является глубокая дегазация трансформаторного масла перед его заливкой.

На трансформаторах с гофробаком, ввиду отмеченных конструктивных особенностей, не устанавливается газовое реле и предохранительный клапан.

Специальные испытания и опыт эксплуатации показал, что возникновение дуги внутри гофробака не приводит к взрыву. Причина тому – меньшая жесткость металлических стенок гофробака (толщина стенки около 1 мм) по сравнению с баком обычного масляного трансформатора, в котором толщина стенки составляет 2,5 - 4 мм. При внезапном росте давления внутри гофробака происходит местный разрыв гофры с выходом образовавшегося газа и вытеканием масла, при этом избыточного давления, приводящего к взрыву, не образуется. Однако разлив масла и наличие виткового замыкания могут привести к пожару.

Была поставлена задача – оценить пределы прочности гофробака, для чего рассчитать параметры его разгерметизации при возникновении избыточного давления. Для этого был применен программный комплекс Cosmos-Solid Works, в рамках которого была разработана

расчетная модель гофробака. Ниже приведено описание этой модели и проведенных вычислительных экспериментов.

Для упрощения достаточно сложной задачи рассматриваем только одну гофру. При этом считаем, что в наиболее опасных условиях находятся крайние гофры, расположенные на длинной стороне бака. Экспериментально было установлено, что при избыточном давлении они раздуваются сильнее всех остальных гофр.

В пакете Solid Works строим модель одной гофры в виде прямоугольника с длиной 900 мм, шириной 360 мм, толщина 6 мм. От конструктивных скруглений в модели отказываемся, так как на этих участках Cosmos Works строит очень мелкую сетку, что, как позднее выяснилось, существенно увеличивает расчетное время.

С той стороны, где гофра стыкуется с баком, реализуем жесткую заделку. Ко всем граням полученной «коробки» прикладываются распределенные силы, создаваемые внутренним давлением. Модель сил и перемещений – облолочная, нелинейная. Задаем достаточно грубую сетку, что позволяет решить нелинейную задачу за 10 – 15 мин. Для более точных сеток подобная задача решается за 2 и более часа. Расчетная погрешность на выбранных нами сетках достигает 5-10%, что в нашем случае это вполне приемлемо.

В качестве материала использовалась пластичная сталь II-СВ-08Ю (ГОСТ 9045-93) толщиной 1,2 мм.

Характеристики стали:

- предел текучести – $2,05 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$;
- предел прочности – $3,4 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$;
- модуль упругости – $2,05 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$;
- коэффициент Пуассона – 0,29.

Cosmos Works позволяет решать задачи тремя методами:

- 1) метод сил: задаются силы – определяются перемещения;
- 2) метод перемещений: задаются перемещения – определяются силы;
- 3) метод длины дуги: метод основан на идее продвижения вдоль множества возможных решений с учетом информации о предыдущих шагах.

Первоначально зададимся избыточным давлением в 1 атм. Давление нарастает по линейному закону в течение 1 секунды. Для решения задачи выбрана программа Directsparse, с помощью которой решение на каждом шаге осуществляется прямым методом.

При появлении сминания листовой стали, рекомендуется выбирать метод длины дуги. Однако попытка решить нашу задачу этим методом длины дуги регулярно приводила к сбою программы именно в тех

точках, где после достижения предела прочности при сжатии в центре гофры возникает сминание, приводящее в итоге к ее деформации. Все попытки с помощью многочисленных настроечных параметров повлиять на ход расчета не привели к успеху. Поэтому было принято решение остановиться на методе управления силой. Это не совсем корректно, так как данный метод не допускает возможностей образования сминания, в результате которого на листовой стали образуются выраженные складки. Вместо этого имитируется процесс упругой и пластической деформации, который резко не снимает возникшего в данных точках напряжения, как в случае сминания. Это оказалось еще одним допущением при решении рассматриваемой задачи.

Тем не менее, мы считаем, что можно пойти на данное допущение, так как оно касается только тех участков, на которых возникают сверхдопустимые напряжения сжатия. Понятно, что при этом сталь испытывает сверхкритические нагрузки. Однако в реальности эти нагрузки еще не приводят к разрушению листовой стали, так как она только сминается, снимая напряжение.

Специфика поставленной задачи такова, что нас больше интересуют напряжения растяжения, чем сжатия. В этом плане метод сил, как нам представляется, вполне пригоден, так как на участках, где возникают максимальные напряжения растяжения, никаких сминаний стали не происходит. Наоборот она расправляется и растягивается. Именно эти участки представляют наибольший интерес, так как именно здесь следует ожидать повреждения сварных швов.

Вычислительный процесс этой задачи оказывается крайне неустойчивым. Очень часто он оканчивается заикливанием. Дело в том, что по мере роста нагрузки по методу сил в местах концентрации напряжения сжатия возникают так называемые «особые точки», в которых расчетный процесс сталкивается с неоднозначностью дальнейшего процесса. Например, нет однозначного ответа, в каком из равновероятных направлений будет деформироваться конкретный участок. В реальных условиях здесь многое зависит от складывающихся обстоятельств. Поэтому в расчетный процесс вводится коэффициент устранения особой точки, выбор которого, как показали многочисленные эксперименты, зависит от конкретных неформализуемых условий. Обычно он подбирается интуитивно. Для каждой нагрузки этот коэффициент может быть различным. Какую-то закономерность выявить удается далеко не всегда.

Анализ результатов показывает, что наибольшие напряжения сжатия возникают в центре гофры, где она деформируется в наибольшей степени. Величина максимального напряжения сжатия составляет

7,134*10⁸ Н/м². Следует отметить, что предельно допустимое напряжение для выбранной стали составляет 3,4*10⁸ Н/м². Это говорит, что в этих областях произойдет сминание стали, которое приведет к возникновению микротрещин. Если не принять срочных мер и продолжать эксплуатировать трансформатор, то в результате разгерметизации бака возникнет течь масла с возможностью возникновения пожара. Однако если говорить о конкретном аварийном режиме, то разрыва здесь не произойдет.

Как показывает анализ серии расчетов, наибольшие напряжения растяжения, приводящие к разрыву гофры, достигаются в точках, расположенных на верхних и нижних ребрах гофры в местах, где происходила сварка гофры и стенки бака.

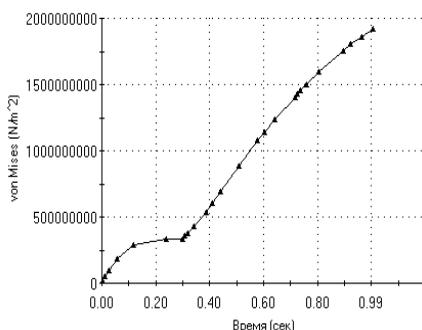


Рис. 1. Эпюра нелинейного узлового напряжения растяжения гофры

На рисунке показана динамика роста напряжения в точке, расположенной на сварном шве гофры.

Давление нарастает по линейному закону в течение 1 секунды до 1 атм. На рисунке видно, что относительно безопасным давлением, которое может выдержать гофра является давление 0,3 атм.

Следует отметить существенное влияние на результаты эксперимента фактора случайности. И это касается не только такого фактора, как качество сварки. Как показал анализ результатов, несмотря на симметрию модели, на верхних и нижних кромках гофры достигаются различные напряжения. Это происходит из-за наличия выше упомянутых особых точек, в которых поиск решения ищется путем выбора одного из вероятных направлений деформации. Другими словами, в самом расчете заложен фактор случайности. Так и в реальных условиях невозможно предсказать, где конкретно сомнется гофра, и какими будут последствия ее деформации.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

- проведенные вычислительные эксперименты по оценке прочности элементов гофробака позволили установить напряжения растяжения и сжатия, которые могут выдерживать без разрушения гофры бака при увеличении внутреннего давления и тем самым определить область, в которой гарантировано отсутствие тяжелых последствий в виде возникновения пожара.
- аналогичные расчеты и оценки должны проводиться при проектировании новых типов трансформаторов с гофробаком.

*Л.Н. Литова, студ., И.Г. Мельцаев, д.с.-х. н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВОЗДЕЙСТВИЕ МИКОТОКСИНОВ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

Пищевой микотоксикоз – это заболевание, возникающее при употреблении продуктов переработки зерна, зараженного токсичными веществами микроскопических грибов. К микотоксикозам относятся эрготизм, фузариотоксикоз и афлотоксикоз и многие другие. В последнее время микотоксикозы регистрируются крайне редко. Эрготизм возникает при употреблении изделий из зерна, содержащего примесь спорыньи. что тесно связано с синтезом в живом организме мелатонина, который, в свою очередь, превращается в серотонин. Наиболее существенную роль серотонин играет в психической жизни человека – нарушения его синтеза ведут к депрессиям и, как сейчас предполагают медики, к шизофрении. У кошек и крыс серотониновая блокада включает медленную фазу сна, у человека, наоборот, быструю, а это значит, что благодаря его воздействию человек осознает свои сновидения. Без серотонина они бы не доходили до сознания.

Серотонином богаты финики и бананы, но особенно много его в смоле и плодах диких фиг («деревьев бога») – теми самыми смоковницами, под которыми испытывали свое озарение древние пророки. Серотонин – естественно производимый в организме наркотик, который легко трансформируется в диэтиламид декстроллизергиновой кислоты, более известный как ЛСД, получаемый химическим путем из склеродий спорыньи. Действие ЛСД на психику определяется тем, что под его влиянием образное мышление получает преимущество над логическим в такой же степени, как в раннем детском возрасте. Проявлением этого является частичное смешение реальных образов с галлюцинациями (субъективное проецируется на объективный мир), возрастание

чувства безответственности и как одно из наиболее характерных проявлений – это эффект замедления течения времени, возникающий в результате резкого ускорения психических процессов. Например, секундная стрелка на часах после приема ЛСД буквально останавливается на глазах. Нужно «адское терпение», чтобы заметить ее движение. Речь становится сбивчивой, так как слова сливаются в один поток, накладываются друг на друга. Открывший ЛСД в 1943 г. швейцарский химик Гофман первым описал его воздействие на организм человека, после приема четверти миллиграмма препарата у него уже через несколько минут появилось головокружение, беспричинный смех, беспокорство, нарушение активного внимания, восприятие окружающего мира в искаженной форме. Проявлением действия ЛСД было и то, что после приема он решил ехать домой на велосипеде через весь город. В пути ему казалось, что он не двигается, а стоит на месте, исчезло представление времени, появился страх сойти с ума. Дома у него появились цветные галлюцинации, голова и ноги налились как будто свинцом. Возникло ощущение, что он витает где-то в пространстве отдельно от собственного уже мертвого тела, распростертого на диване. Вызванный врач не нашел никаких нарушений в работе сердца и легких. В течение вечера все аномалии исчезли, дольше всего сохранялись «зрительные иллюзии под влиянием звуков». Позднее ЛСД получило популярность как самый сильный галлюциноген. По мнению химиков, анализировавших его структурную формулу, более эффективного средства в природе быть не может. Врачи утверждают, что под влиянием ЛСД зрительные клетки глаза начинают самовозбуждаться, и поэтому мозг видит свет и цвета, которых нет перед глазами. Особенно богаты возникающие видения сияниями и цветными галлюцинациями. ЛСД не порождает наркоманию, но опасен рождающимся чувством безответственности и всемогущества. Склероции спорыньи также содержат ядовитые алколоиды (эргоалколоиды), вызывающие резкое сокращение всех гладких мышц. Употребление в пищу, муки с примесью спорыньи, вызывает отравление (иногда смертельное) – эрготизм. В народе эту болезнь называют «злые корчи», «антониев огонь». Наиболее ядовиты свежие склероции, через год яд практически утрачивает токсичность. Один грамм алколоида спорыньи достаточно для отравления 1,5 тыс. человек. Для профилактики эрготизма важное значение имеет тщательная очистка семенного и продовольственного зерна от спорыньи. Содержание спорыньи в муке и крупе допускается не более 0,05%.

Фузариотоксикозы: к ним относятся алиментарно-токсичная алейкия и отравление «пьяным хлебом». Алиментарно-токсичная алейкия, или септиче-

ская ангина, развивается в результате потребления изделий из перезимовавшего на поле зерна, зараженного токсинами грибов из рода *Fusarium*. Токсичное вещество этих грибов термоустойчиво, даже при тепловой обработке изделий такого зерна, гриб не теряет своей активности. Отравление «пьяным хлебом» возникает также при употреблении изделий из зерна, пораженного токсичным грибом *Fusarium graminearum*. Признаки этого заболевания напоминают состояние опьянения и характеризуются состоянием возбуждения, эйфории (смех, пение и так далее), нарушением координации движений (шаткая походка). Нередко проявляются расстройства желудочно-кишечного тракта – диарея, тошнота, рвота. Основная мера предупреждения фузариотоксикозов – это запрещение использования в пищу изделий из перезимовавшего на поле зерна. К мерам профилактики этого пищевого отравления относится также соблюдение необходимых влажностно-температурных условий хранения продовольственного зерна, исключаяющих его увлажнение и плесневение.

Афлотоксикоз – это заболевание, возникающее при длительном употреблении изделий из злаковых культур, пораженных грибами рода *Penicillium* и *Aspergillus*. В последние годы за рубежом получены данные, свидетельствующие о том, что некоторые виды плесневых грибов рода *Aspergillus flavus* и *Penicillium pube*, паразитирующие на растительных продуктах (арахис, пшеница, рожь, кукуруза, рис и так далее) выделяют токсичное вещество – афлотоксин (фурокумарины), который обладает выраженным канцерогенным свойством и вызывает тяжелые поражения печени. Афлотоксины термолабильны и плохо растворимы в воде, разрушаются только при воздействии крепкой желчи. В пищевых продуктах афлотоксины образуются при различной температуре, но особенно активно этот процесс протекает при + 22 - +30°C и влажности 85—90%.

Характерными особенностями пищевых заболеваний не бактериальной природы являются возникновение их преимущественно в быту и имеющих незначительное количество пострадавших. Среди пищевых заболеваний отравления не бактериальной природы составляют около 7—15 %. Для этих заболеваний характерна высокая летальность, главным образом при употреблении ядовитых грибов и дикорастущих растений.

Грибы выделяют в особое царство «царство грибов» органического мира. Существует свыше 100 видов ядовитых грибов. От бактерий грибы отличаются наличием ядра в клетке. Патогенные грибы вызывают болезни растений, животных и человека.

Среди отравлений растительного происхождения наиболее часты заболевания, вызываемые грибами. В среднем около 15 % случаев отравление грибами заканчиваются летальным исходом. По классификации различают съедобные и несъедобные грибы. Съедобные грибы бывают: безусловно съедобные, съедоб-

ные и условно съедобные. Безусловно съедобные грибы употребляют в пищу обычно без предварительной и дополнительной обработок (белый гриб, подберезовик, подосиновик, масленок, моховик и некоторые пластинчатые грибы — шампиньоны, опенок настоящий, лисичка и другие). Грибы являются полезными и питательными, иногда их называют «лесным» или «растительным мясом». Они богаты белками (также содержат около 1 % свободных аминокислот), углеводами — специфическим грибным сахаром — микозой и гликогеном (так называемым «животным крахмалом»). Грибы содержат в своем составе минеральные вещества: калий, фосфор, серу, магний, натрий, кальций, хлор, и витамины A (каротин), витамины группы B, витамины C, большое количество витамина D и витамина PP.

Известно, что некоторые люди особо чувствительны к определенным видам пищевых продуктов, в частности, к грибам. В принципе аллергическую реакцию может вызвать любой гриб, но чаще всего это случается при употреблении в пищу опят или говорушки дымчатой. Следствием становятся, как правило, изменение цвета кожи или крапивница, а иногда даже аллергическая астма или нарушение кровообращения.

Наиболее опасными грибами в нашей зоне являются бледная поганка и разновидности мухомора. Бледная поганка относится к числу самых ядовитых грибов. Токсичное действие этого гриба вызвано содержанием ядов двух групп: аманитоксина и фаллотоксины. Ее яд не разрушается ни при кипячении, ни при жарении, ни при обработке иным способом и даже пищеварительными ферментами. Первые действия в начальной фазе отравления и приводят к тяжелому поражению желудка и кишечника, что выражается в рвоте, коликах, судорогах, водянистом поносе и вследствие этого нарушении кровообращения. Вторые, значительно более сильные яды начинают действовать позже, чаще всего после мнимого улучшения в состоянии пациента. Тогда начинается разрушение печени, почек, сердечной мышцы, и это нередко кончается мучительной смертью. Яд этого гриба представляет собой смертельную опасность для человека. Признаки отравления наступают через 10—12 ч. При этом отмечается бурное развитие желудочно-кишечных расстройств: появляются многократная рвота, резкая боль в животе, жидкий стул, желтуха, бессознательное состояние, в тяжелых случаях наступает смерть (1—2 дня).

Можно отравиться красным мухомором, но летальные исходы очень редки. К его разновидностям относят: вонючий мухомор (по ядовитости очень близок к бледной поганке), поганковидный, парфировидный, красный пантерный и др. Грибы группы мухомора вызыва-

ют легкие отравления, а в некоторых случаях, особенно у детей, могут иметь летальный исход. Токсичное действие красного мухомора вызвано наличием в его тканях алколоида мускорино. Мухомор – самый распространенный несъедобный гриб. Первоначальное отравление этим грибом выражено в сильном опьянении. Через 1-2 часа появляется слюнотечение, рвота, головокружение, боль в желудке и холодный пот, понос. Если отравление легкое, то выздоровление наступает через 2-3 дня. Грибные отравления могут быть вызваны ложными серо-желтыми опятами, которые внешне похожими на съедобные. Обычными симптомами отравления являются тошнота, рвота и расстройство кишечника, которые проявляются через 30 - 60 мин. Свинушка тонкая также является ядовитым грибом, но столетиями его считали пригодным для еды, а точнее – ядовитым в сыром виде и требующим длительной тепловой обработки. Сегодня доказано, что даже при всех предосторожностях частое употребление в пищу свинушек тонких может привести к тяжелейшим заболеваниям и даже к смерти. При поедании рогатика красивого возможны нарушения деятельности желудка и кишечника. Употребление сыроежки жгуче-едкой в пищу приводит к нарушению пищеварения. Гриб рядовка ядовитая может вызвать у человека тяжелое поражение пищеварительных органов.

Ложнодождевик обыкновенный встречается летом и осенью в лесах на кислой почве, гриб ядовит. В последние годы участились сообщения из разных областей Центральной Европы о том, что дикорастущие грибы содержат соединения тяжелых металлов – кадмия, ртути и свинца [1].

Библиографический список

1. Гусынин И. А. Токсикология ядовитых растений, 4 изд., М., 1962
2. Электронный источник: url=<http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2611.html>]МИКОТ ОКСИНЫ[url]

*П.В. Литов, студ.; рук. А.К. Соколов д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБ ОПАСНОСТИ РАДОНА В ЖИЛЫХ И ОФИСНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ЗДАНИЙ

Радон – самый тяжелый из благородных газов, которые раньше, еще лет 20–30 назад, чаще называли инертными газами. Он не имеет ни запаха, ни вкуса, прозрачен и бесцветен. Его плотность при 0°С равна 9,81 кг/м³, то есть почти в 8 раз больше плотности воздуха.

В нашей стране нормирование содержания радона в воздухе помещений осуществляется по показателю среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) изотопов радона, который измеряется в Бк/м³.

В жилых и общественных зданиях, которые сдаются после строительства, капитального ремонта или реконструкции ЭРОА радона не должна превышать 100 Бк/м³, а в эксплуатируемых зданиях – 200 Бк/м³.

В случае выявления жилых помещений, в которых среднегодовая эквивалентная объемная равновесная активность радона превышает 200 Бк/м³, должен проводиться комплекс радонозащитных мероприятий, который может включать следующие меры:

- изоляция подвалов зданий и перекрытий между подвалом и первым этажом от почвенного воздуха. Для этого по монолитно-фундаментной плите и по внутренней поверхности стен подвала устраивается герметичный противорадоновый ковер;
- интенсивное проветривание подвальных помещений или создание промежуточного продуваемого пространства между подвалом и жилыми помещениями;
- свободный газоотвод из почвы вне контуров здания, например, путем устройства обратной засыпки экологически чистыми газопроницаемыми материалами;
- изменение объемно-планировочных и конструктивных решений, обеспечивающих минимальное использование строительных материалов с повышенными радиоактивностью и радоновыделением;
- герметизация оконных и дверных проемов, обеспечение раздельной, в том числе принудительной, вентиляции помещений, независимой для каждого этажа;
- отделка фасада и кровли здания материалами, предотвращающими скопление пыли и снижающими газопоглощение;
- облицовка внутренних поверхностей, помещений или их покрытий специальной противорадоновой краской.

В эксплуатируемых зданиях до проведения изоляции подвальных помещений жителям рекомендуется выполнить: застилку полов линолеумом без подкладки, которая может накапливать продукты распада радона; заделку щелей в полу и стенах; покрытие полов масляной краской (не менее 3-х слоев); оклеивание стен обоями (снижение проникновения радона около 30%) или облицовку стен и полов пластиком (поступление радона уменьшается примерно в 10 раз). Самый простой способ понижения концентрации радона – проветривание. Проветривание особенно важно зимой. В другое время года радон активно

сносится воздухом, а когда земля покрыта льдом и снегом, он выходит только там, где тепло, то есть под зданиями, и поступает в помещения по микротрещинам.

Если после проведения комплекса радонозащитных мероприятий среднегодовая эквивалентная объемная равновесная активность радона в помещениях будет превышать 400 Бк/м³, то в соответствии с п.7.3.4 НРБ-96 должен решаться вопрос о переселении жильцов (с их согласия) и перепрофилировании или сносе здания.

По данным Санэпиднадзора г. Иваново за последние 10 лет вклад радона во внутренне облучение населения области составляет 55% от общей дозы облучения.

Анализ данных ЭРОА радона в помещениях жилых и общественных зданий показывает, что ситуация, складывающаяся в настоящий момент, улучшается. Количество замеров, показывающих превышение гигиенических критериев, снижается.

В докладе приводятся данные Санэпиднадзора г. Иваново по результатам измерения содержания радона в последние годы и по удельному количеству объектов и районов города, в которых выявлены превышения активности радона.

Библиографический список

1. <http://www.ivgorod.ru/news/4972>
2. <http://manometer-ufa.ru/articles97.html>
3. <http://sizvestiya.ru/?p=7613>

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

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Профессиональными группами, обслуживающими магистральные электрические сети (МЭС) являются работники подстанций, бригады по ремонту воздушных линий, бригады по ремонту оборудования подстанций, лабораторий и др. Выполнение ими производственных операций по обслуживанию магистральных электрических сетей связано с воздействием опасных и вредных производственных факторов – электромагнитных полей повышенной напряженности, электрического тока, акустического воздействия; необходимостью проведения работ в

неудобной рабочей позе и на высоте. Кроме этого, при эксплуатации магистральных сетей возможно возникновение аварийных ситуаций, которые могут привести к отключению магистральных сетей, в частности, пожары и взрывы на трансформаторах и масляных выключателях электрических подстанций, разрушение опор ЛЭП и обрыв проводов линий электропередачи вследствие конструктивных недостатков опор, ледяного дождя, сейсмических и ветровых воздействий, при которых опасность поражения персонала возрастает.

Типовыми технологическими нарушениями на оборудовании подстанций являются разрушение опорно-стержневой изоляции, разрушение вводов выключателей, трансформаторов и реакторов, разрушение конденсаторов связи, фильтров присоединений, повреждение коммутационных аппаратов, повреждения трансформаторов с возгоранием. Типовыми нарушениями на воздушной ЛЭП являются падение деревьев на провода, пробой на деревья, действие посторонних лиц в охранных зонах ЛЭП (приближение техники, строительные работы и др.), удар молнии, ветровые и гололедные воздействия, пожары в охранных зонах ЛЭП, падение опор ЛЭП, ошибки персонала при ремонтах ЛЭП. Причинами аварий в магистральных сетях также часто становятся гололедообразования на линиях электропередач и налипание мокрого снега.

Для повышения безопасности работников необходимо проведение организационных и технических мероприятий, снижающих воздействие вредных и опасных факторов и вероятность возникновения аварийных ситуаций, связанных с отказами оборудования.

Организационными мероприятиями являются создание системы предупреждения нарушений охраны труда; системы идентификации опасностей, анализа и оценке рисков; функционирование Комитета по охране труда на предприятии; применение компьютерных программ для контроля за безопасностью - АРМ «База аварийности» и программного комплекса «Анализ расследования технологических нарушений в работе оборудования и энергообъектов».

Целями внедрения системы по идентификации опасностей, анализу и оценке рисков являются на уровне отдельного рабочего места: информирование о существующем риске повреждения здоровья; выявление наиболее существенных рисков и планирование мероприятий по их устранению (снижению); снижение остаточных рисков и обеспечение непрерывного совершенствования в области охраны труда. На уровне МЭС целью оценки риска является выявление приоритетных направлений улучшения условий труда, обеспечивающих

безопасность рабочих мест; выяснение причинно-следственной связи состояния здоровья работников с условиями труда.

Можно выделить следующие основные этапы в проведении процедуры идентификации опасностей, оценки и управления рисками:

- 1) идентификация опасностей (ежегодно);
- 2) предварительная оценка рисков по подразделению предприятия;
- 3) окончательная оценка рисков по всем подразделениям предприятия;
- 4) утверждение “Карты опасных факторов и оценки рисков” по всем подразделениям предприятия;
- 5) ознакомление работников с картой опасных факторов и оценки рисков в подразделении предприятия и контроль за выполнением намеченных мероприятий по снижению рисков.

“Карта опасных факторов и оценки рисков” является основным документом по идентификации опасностей и оценке рисков травмирования работников, в нем по строкам фиксируются все виды опасностей, их причины, производится расчет рисков с разработкой мероприятий по их снижению. Мероприятия по устранению опасностей уменьшению рисков, указанные в “Карте опасных факторов и оценки рисков”, обязательны для выполнения в установленные сроки.

Уровень профессиональной безопасности персонала, задействованного в производственной деятельности в электрических сетях, оценивается следующими показателями, которые после расчета их значений пересчитываются в баллы.

Коэффициент частоты несчастных случаев $K_{\text{ч}}$:

$$K_{\text{ч}} = \frac{N_{\text{нс}} \cdot 1000}{N_{\text{сл}}},$$

где: $N_{\text{нс}}$ - число пострадавших от несчастных случаев за определенный период (месяц, квартал, полугодие, год); $N_{\text{сл}}$ - среднесписочная численность работающих предприятия за определенный период (месяц, квартал, полугодие, год).

Коэффициент частоты наступления несчастных случаев со смертельным исходом $K_{\text{чсм}}$:

$$K_{\text{чсм}} = \frac{N_{\text{см}} \cdot 1000}{N_{\text{сл}}},$$

где: $N_{\text{см}}$ - число пострадавших от несчастных случаев со смертельным исходом за определенный период (месяц, квартал, полугодие, год).

Коэффициент тяжести производственного травматизма $K_{\text{т}}$:

$$K_T = \frac{T_d}{N_{HC} - N_{CM}},$$

где: T_d - общее количество дней нетрудоспособности у всех пострадавших за определенный период (месяц, квартал, полугодие, год).

Индекс производственного травматизма $I_{тр}$:

$$I_{тр} = K_{чсм} \cdot K_{тсм} + K_{ч} \cdot K_T.$$

Процесс управления безопасностью включает следующие этапы:

1) ежегодное проведение идентификации опасностей и условий их возникновения, количественной оценки травматизма и принятых вероятностей несчастных случаев, сравнительного анализа состояния охраны труда в подразделениях и на рабочих местах, оценки динамики травматизма;

2) реализация мероприятий по повышению безопасности;

3) мониторинг эффективности принимаемых решений и их корректировка, контроль выполнения плана управления безопасностью и перспективное планирование развития работ по охране труда на предприятии.

В качестве основных технических решений для повышения безопасности рассматриваются: конструктивные мероприятия в трехфазных электрических сетях для защиты от поражения персонала электрическим током, устранение опасности (замена оборудования, отмена соответствующей операции); минимизация опасности с применением инженерных решений, мер организационного характера, коллективной защиты, СИЗ; углубленное изучение закономерностей развития опасностей для изыскания новых средств минимизации рисков, проведение охранных мероприятий в охранных зонах электрических сетей напряжением свыше 1000 В, мероприятий по снижению напряженности электрического поля при выполнении работ около ЛЭП, технические решения по повышению устойчивости и безопасности при гололедных воздействиях и др.

Главными направлениями решения проблемы риска ошибочных действий персонала являются: совершенствование обучения работников безопасным методам работы и контроля качества обучения; повышение уровня профессиональной подготовки персонала всех подразделений, качества инструкций и тренажеров для выполнения работ на опасных промышленных объектах, уровня правовой ответственности за несоблюдение требований по охране труда; применение физиологических и психодиагностических методов контроля способности персонала выполнять работу в опасных условиях; создание системы психологической поддержки работника; воспитание у персонала созна-

тельного отношения к производственным опасностям и способам защиты от них; создание интерактивной информационной и правовой поддержки работающих с применением мобильных средств связи и телекоммуникации; отображение возможных опасностей на рабочих местах.

Служба охраны труда предприятия в соответствии с полученными результатами анализа безопасности по подразделениям формирует список оборудования, требующего замены или ремонта по условиям безопасности проведения работ; дает предложения по проведению организационных и технических мероприятий по охране труда, предложения по совершенствованию профессиональной подготовки персонала, по психофизиологической подготовке персонала к работе на потенциально опасных рабочих местах.

*Ю.Б. Логинова, студ.; рук. К.В. Чернов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ТРУДА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЖАТОГО ВОЗДУХА В КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ ИВАНОВСКОЙ ДСК

Открытое акционерное общество «Ивановская домостроительная компания (ДСК)» является юридическим лицом и действует на основании законодательства Российской Федерации и устава предприятия. ДСК – одна из первых строительных фирм в России, образованная в 1961 году. Общая численность работников компании в настоящее время составляет около 2000 человек.

Основной вид деятельности компании – производство железобетонных, бетонных конструкций, столярных и металлических изделий, строительство из них крупнопанельных жилых домов. Дополнительно выполняются отделочные, санитарно-технические, термоизоляционные, электромонтажные работы, работы по монтажу систем газоснабжения, инженерных сетей, благоустройству, монтажу, эксплуатации и ремонту лифтов, грузоподъемных кранов.

Предприятие имеет собственную компрессорную станцию. В компрессорной станции эксплуатируются 4 стационарных компрессорных установок 2ВМ10-63/9 для производства сжатого воздуха, а также вспомогательное оборудование: концевые холодильники, воздухопроводы, запорная арматура, буферные ёмкости, сети инженерных коммуникаций (водоснабжения, водоотведения, пара, горячей воды и т.д.),

а также бытовые помещения для работников. Сжатый воздух подается в основные цехи, на производство по выпуску металлических изделий, в цех линолеума, а также для привода пневмооборудования, подачи и разгрузки цемента и других производственных целей.

Эксплуатация компрессорного оборудования сопровождается детерминированными техногенными воздействиями на работников, кроме того возможно возникновение стохастических воздействий вследствие техногенных происшествий. Одним из техногенных происшествий при производстве сжатого воздуха является взрывная разгерметизация воздухосборника. При этом быстрое разрушение герметизирующей оболочки приводит к образованию ударной волны и возникновению взрывных воздействий.

Научное исследование проблемы безопасности при производстве сжатого воздуха состоит в обнаружении и описании опасных событий и процессов в компрессорной станции, приводящих к опасным техногенным воздействиям. Результатом становится создание причинно-следственных моделей, которые служат основой для отыскания способов уменьшения вероятности возникновения техногенные происшествий и обуславливают мероприятия по охране труда.

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

О КОЛИЧЕСТВЕ И ОПАСНОСТИ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Опасными считаются отходы, которые содержат вредные вещества, обладающие токсичностью, взрывоопасностью, пожароопасностью, высокой реакционной способностью или содержащие возбудителей инфекционных болезней, либо которые могут представлять непосредственную или потенциальную опасность для окружающей природной среды и здоровья человека самостоятельно или при вступлении в контакт с другими веществами [1].

Класс опасности отходов (пять классов от безопасных до чрезвычайно опасных) устанавливается с применением экспериментальных или расчетных методов по степени возможного вредного воздействия на окружающую природную среду при непосредственном или косвенном воздействии опасного отхода.

Твердые бытовые отходы (ТБО) могут содержать вещества с различными классами опасности.

К опасным бытовым отходам (ОБО) относятся следующие виды:

- отработанные элементы питания (опасные компоненты: свинец, ртуть, кадмий; обладают токсичностью);
- остатки минеральных масел (опасные компоненты углеводороды; обладают токсичностью и пожароопасностью);
- краски, лаки (опасные компоненты: углеводороды, тяжелые металлы; обладают токсичностью и пожароопасностью);
- ртутные лампы, термометры (опасный компонент – ртуть; обладает токсичностью);
- остатки лекарственных и косметических средств (опасные компоненты: масла, эфиры, пигменты, галогены, тяжелые металлы; обладают токсичностью, пожароопасностью, высокой реакционной способностью);
- средства защиты растений (опасные компоненты: пестициды, инсектициды обладают токсичностью);
- остатки чистящих и моющих средств (опасные компоненты: кислоты, щелочи, углеводороды, пигменты; обладают токсичностью, пожароопасностью, высокой реакционной способностью).

Количество отходов постоянно увеличивается из-за роста численности населения городов и доходов. Растут массы и объемы упаковок. Данные об образовании отходов в разных странах представлены в табл. 1 и 2.

Составы и объемы бытовых отходов чрезвычайно разнообразны и зависят не только от страны и местности, но и от времени года и от многих других факторов. Состав бытовых отходов для некоторых стран приведен в табл. 3.

Для выбора наиболее эффективных и экономичных способы утилизации отходов необходима информация не только об объемах ТБО, но и об их структуре, особенно о количестве и составе опасных бытовых отходов.

Таблица 1 - Данные об образовании отходов производства и потребления в Российской Федерации [2]

Показатели	2002	2003	2004	2005
Образование отходов производства и потребления, млн. т	2038	2614	2644	3036
В том числе опасных, млн. т	211	287	143	142
%	10,4	11,0	5,4	4,7
Использование и обезвреживание отходов производства и потребления, млн. т	1216	1343	1141	1266
%	59,7	51,4	43,2	41,7

Таблица 2 - Количество бытовых отходов по странам [2]

Страна	Всего в год, тонн	На душу населения в день, кг
США (2000)	200 000 000	1,91
Беларусь	7 000 000	0,7
США (2007)	216 000 000	2,00
СССР (1989)	57 000 000	0,23
РФ (2007)	26 000 000	0,17
Великобритания	18 000 000	0,9

Таблица 3 - Состав и объем ТБО в США и Беларуси [2]

Вид ТБО	Количество по категориям, %	
	США	Беларусь
Бумага, картон	40	20-36
Стекло	7	5-7
Металлы	8,5	2-3
Пластик	8	3-5
Текстиль	2,1	3-6
Резина и кожа	2,5	1,5-2,5
Древесина	3,6	1-4
Пищевые отходы	4,7	20-38
Другое	20,9	10-35,5

Бумага и картон составляют наиболее значительную часть (до 40% в развитых странах) твердых бытовых отходов (ТБО). Вторая по величине категория ТБО – органические, в т.ч. пищевые, отходы. Металл, стекло и пластик составляют по 7–9% от общего количества отходов. Примерно по 4% приходится на дерево, текстиль, резину и т.д.

Данные табл. 3 показывают, что масса некоторых компонентов отходов США и Беларуси различается довольно значительно. Причем ОБО в табл. 3 не выделены отдельной строкой.

Данные о массе ОБО имеются в литературе по некоторым странам ЕС, которые представлены в табл. 4.

Таблица 4 - Массы опасных бытовых отходов в странах ЕС [3]

Страна	Количество ОБО на душу населения, кг/год	Доля в общем количестве ТБО, %
Австрия	2,8-3,2	0,8-0,9
Германия	4,7	1,0
Италия	4,4	1,1
Испания	4,6	1,0
Швеция	4,3	1,0
Франция	4,5	1,2

За последнее время в ТБО повысилось содержание тяжелых металлов за счет отработанных сухих гальванических элементов, аккумуля-

торов, ламп накаливания, люминесцентных ламп, синтетических материалов (красители, стабилизаторы), металлических покрытий кожи и др.

Для обеспечения экологической безопасности населения весьма актуально выполнение оценки удельных масс ОБО по городам РФ, которая необходима для выбора технологий и мощности систем обезвреживания и утилизации ТБО.

Библиографический список

1. <http://buh24.com/vtor>
2. <http://www.km.ru/referats/6DC9A2F171F741ADAC90F8EF7AE7AA9E>
3. http://elibr.altstu.ru/elibr/books/Files/pv2006_02_1/pdf/372beldeeva.pdf
4. **Инженерная экология**: Учебник / Под ред. проф. В.Т. Медведева. – М.: Гардарики, 2002. – 687 с: ил.

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

О СПОСОБАХ ЗАКАЛИВАНИЯ ОРГАНИЗМА

Закаливание – древний метод укрепления здоровья и повышения долголетия. Закаливание организма – это целый спектр мероприятий, а не только обливание холодной водой.

Закаливание проводится в целях повышения сопротивляемости организма к неблагоприятным воздействиям внешней среды. В первую очередь закаливание противодействует простудным заболеваниям, так как закаливание вырабатывает устойчивость организма к переохлаждениям, которые и вызывает простудные заболевания.

Кроме того, закаливание оказывает оздоравливающее действие на организм, повышает тонус нервной системы, улучшает кровообращение, нормализует обмен веществ, увеличивает жизненную емкость легких, нормализует артериальное давление и другое.

Закаленный организм устойчив к неблагоприятным воздействиям окружающей среды. Это особенно важно для России, с длительной и суровой зимой.

Закаливание может включать следующие процедуры:

- закаливание воздухом;
- водные процедуры;
- солнечные ванны;
- обтирание снегом;
- хождение босиком;
- баня, с купанием в холодной воде.

Рассмотрим некоторые наиболее простые примеры организации закаливания.

Холодное обтирание проводится при температуре не ниже 18 градусов полотенцем, смоченным холодной водой с последующим обтиранием быстрыми движениями сухим полотенцем.

Водные процедуры для ног процедуры рекомендуются людям, часто болеющим простудными заболеваниями. Они проводятся вечером, перед сном, погружением ног в прохладную воду с температурой 38 градусов на 3...5 минут. Каждый день температуру следует понижать на 1 градус.

Контрастный душ принимают путем чередования обливания теплой (30 сек) и горячей (30 сек) водой. Время подачи, особенно холодной воды, постепенно увеличивают до 1...5 мин., при этом понижая ее температуру. Контрастный душ рекомендуется использовать примерно один раз в неделю.

Начинать закаливание рекомендуется в летний период, который наиболее безопасен и комфортен с психологической и физической точек зрения. Переход к более сложным методам закаливания следует осуществлять постепенно.

При выборе способа закаливания следует учитывать возраст, образ жизни, состояние здоровья, реакцию организма на закаливание.

Закаливание будет эффективно, если оно станет ежедневной привычкой и будет дополнять физические упражнения и другие способы поддержания здорового образа жизни.

В докладе будут представлены описания технических средств, которые упростят выполнение процедур закаливания.

*Е.С. Горячева, студ.; рук. И.Г. Мельцаев, доктор с.-х. наук, проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОТРАВЛЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА ПРОДУКТИВНЫМИ И НЕПРОДУКТИВНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ РАСТЕНИЙ

Британские ученые назвали картофель самым богатым витаминным продуктом. К такому выводу привели многолетние исследования: картофель гораздо полезнее капусты, бананов или орехов, которые усиленно пропагандируются поборниками здорового образа жизни. Регулярное употребление картофеля (особенно в вареном виде) нормализует множество функций организма, но наиболее полезна картошка варенная «в мундире». Он содержит в 5 раз больше клетчатки, чем ба-

нан, много витамина С и такого важного элемента как селен, которого в картофеле больше, чем в орехах и семечках. В целом картофель можно охарактеризовать как комплекс витаминов и микроэлементов в наилучшем для человека сочетании. Но в определенных условиях хранения картофеля, клубни становятся ядовитыми – образуются разные гликозидные соединения, обладающие горьким вкусом. В картофеле обнаружено 6 глюкоалколоидов, в том числе соланин, галактоза. Соланин – это очень опасный растительный токсин. При употреблении картофеля, содержащего более 20 мг солонина, может наступить отравление организма. При яровизации клубней на свету содержание соланина возрастает в 4 раза. Под действием прямого или рассеянного света содержание его увеличивается до 30–40 мг на 100 г клубней, вместо 2–10 мг в обычном картофеле. Для семенного картофеля такое озеленение позволяет защитить их от болезней и грызунов. Больше всего соланина в кожуре – 30 - 64 мг%. Содержание соланина увеличивается при прорастании и позеленении клубней картофеля. Так, например, содержание соланина в зеленых клубнях достигает до 1,0 %, цветках (0,6–0,7 %), ростках (до 0,5–5), кожуре клубней (0,03 – 0,06 %), ботве (до 0,25 %) и меньше всего в зрелых клубнях (0,02–0,007 %). Много соланина накапливается подмороженном, пораженном грибами и нематодами и частично загнившем картофеле. При употреблении таких клубней очень сильно нарушается функция органов пищеварения. Отравления некоторыми съедобными пищевыми продуктами, частично приобретшими ядовитые свойства: относятся пищевые отравления, вызванные бобами фасоли, горькими ядрами косточковых плодов, буковыми орехами. Соланин содержит и паслен черный и сладко-горький. Больше всего его в незрелых ягодах и листьях. Есть он и в помидорах и баклажанах некоторых видов и х листьях. Соланин обладает выраженным местным раздражающим действием, вызывает воспаление слизистых оболочек ЖКТ. После всасывания в кровь гликозид вначале действует возбуждающе, а затем угнетающе на ЦНС, вызывает гемолиз эритроцитов и, выделяясь, поражает почки и кожу. Соланин по свойствам близок к гликозидам и относится к гемолитическим ядам, т. е. разрушает эритроциты крови. Для человека токсичная доза, способная вызвать отравление – 200–400 мг%.

Фазин – токсичное вещество, содержащееся в сырой фасоли. Пищевое отравление возникает при использовании в пищу фасолевого концентрата. Отравление проявляется слабыми симптомами расстройства кишечника. Мера профилактики отравления фазином – соблюдение технологии приготовления фасолевого концентрата, надежно обеспечивающего инактивирование фазина.

В некоторых растениях, их плодах и семенах содержатся вещества, обладающие ядовитыми свойствами. Так, горький миндаль и ядра косточковых плодов содержат гликозид амигдалин, при разрушении которого выделяется синильная кислота. Амигдалин содержится в горьком миндале в количестве 2 - 8 %, в ядрах косточек абрикосов – 8%, персиков – 2 – 3 %, слив – 0,96%; при его расщеплении образуется 5,6% синильная кислота. Отравления в легкой форме сопровождаются головной болью, тошнотой; при тяжелой форме отравления наблюдаются цианоз, судороги, потеря сознания и возможна смерть. Фагин. Возможны отравления, вызванные сырыми буковыми орехами, в которых содержится фагин. Отравление проявляется в виде плохого самочувствия, головной боли, тошноты и расстройства кишечника. Обезвреживаются орехи термической обработкой при температуре +120 - +130°С в течение 30 мин. Т-2- токсин – продукт жизнедеятельности грибов рода *Fusarium*, поэтому до конца 60-х годов токсикозы, вызываемые данным микотоксином, диагностировали как фузариотоксикозы. Т-2- токсин относится к первому классу опасности с величиной ЛД₅₀ для белых мышей и крыс при однократном оральном введении 5-10 мг/кг массы тела. Т-2-токсин обладает резко выраженным дерматонекротоксическим действием. Аналогично он действует на слизистые оболочки ротовой полости, пищевода, ЖКТ, а также на клетки печени и кроветворных органов. Продуцирование Т-2-токсина на зерновых субстратах происходит при относительно невысоких температурах. Грибами-продуцентами охратоксинов являются грибы родов *Aspergillus* и *Penicillium*. Они могут проникать в организм через кожу и дыхательные пути. При отравлении в печени происходит жировая инфильтрация паренхиматозных клеток. Кроме того, наблюдаются изменения в эндоплазматическом ретикулуме и набухание митохондрий.

В муке из плохо очищенного зерна могут содержаться ядовитые примеси куколя, софоры (горчак), гелиотропа опушеноплодного, триходесмы седой и другие. Случаи отравления этими ядовитыми примесями встречаются очень редко. Содержание некоторых примесей в муке нормируется: куколя - не более 0,1%, софоры - 0,04%. Содержание некоторых примесей, например семян гелиотропа, в зерне продовольственных культур не допускается. Меры профилактики отравлений сорными примесями сводятся к повышению агротехнической культуры земледелия и тщательной очистке зерна от этих примесей.

Семена яблок содержат, вишни (Prunus cerasus), персика (Prunus persica), сливы (Prunus domestica), миндаля (Prunus dulcis), абрикосов (Prunus armeniaca), также листья и растений содержат цианогенные гликозиды. Помидор (Solanum lycopersicum) и его листья помидоров

содержат не только соланин, но и другие алкалоиды вредные для человека.

Ревень (*Rheum rhaponticum*). Листовые пластинки содержат большое количество щавелевой кислоты, которая может вызвать нарушение работы почек. В пищу идут только черешки и очень редко молодые листья ревеня. Корень и корневища этого растения считаются ядовитыми, поэтому используются в фармацевтике для производства лекарственных препаратов. В народной медицине корень ревеня применяют как общеукрепляющее средство при малокровии, туберкулезе, различных расстройствах пищеварительной системы и болезнях желчного пузыря. Высокое содержание щавелевой кислоты в ревете представляет серьезную опасность для детей, так как 2-4 г этой кислоты вызывает серьезное отравление. В связи с большим содержанием этой кислоты ремень противопоказан людям, болеющим подагрой – нарушается солевой обмен.

Необработанные клубни маниоки (*Manihot esculenta*) содержат также гликозиды. В сыром виде корнеплоды очень ядовиты, и употребляются в пищу только лишь вареными или печеными. Маниок съедобный, или кассава, – пищевое растение тропической зоны обоих полушарий. Клубневидно вздутые корни достигают длины до 1 м и весят до 15 кг, в своем составе содержат 20—40 % крахмала. Содержащийся в корнях ядовитый гликозид удаляется при их высушивании, промывании и варке. В маниоке сладком (*M. dulcis*) находится этого гликозида небольшом количестве. Все виды маниок содержат млечный сок, а ряд видов еще каучуконосы. Из маниоки путем брожения получают также такие продукты как биоэтанол и биобутанол.

Из растения дигиталиса (наперстянки) получают вещество для лечения сердечно-сосудистых заболеваний. Надземная часть растения содержит стероидные гликозиды (дигитоксин, β -ацетилдигитоксин, дигитонин, гитоксин, гитонин), а также ряд гениуинных гликозидов (пурпуреа гликозиды А и В), которые в процессе сушки и хранения превращаются в основные (вторичные) гликозиды. Кроме того, это растение содержит ряд органических кислот, сапонины, флавоноиды, холин и другие соединения. Гликозиды наперстянки отличаются наибольшей стойкостью в организме по сравнению с другими сердечными гликозидами при внутреннем применении, что объясняется наличием в их молекуле необычного для тканевого обмена сахара – дигитоксозы. При внутреннем применении дигитоксина кардиотропный эффект развивается лишь через 2–4 ч. В связи с этим гликозиды наперстянки пурпуровой по скорости развития кардиотропной специфической активности относятся к медленно действующим сердечным

гликозидам. Если кардиотоническое действие сердечных гликозидов группы строфанта продолжается 24–30 ч, то для дигитоксина этот период составляет 2–3 недели. Гликозиды при приеме вовнутрь постепенно накапливаются в организме. Скорость процесса инактивации и выведения дигитоксина настолько мала, что его период полураспада составляет 160 часов. По длительности действия и способности к кумуляции дигитоксин занимает первое место среди всех известных сердечных гликозидов, за ним следуют дигоксин, цепаид и строфантин.

Достаточно пожевать одно семечко клещевины, чтобы получить смертельное отравление. Семена клещевины содержат от 40 до 60 % жирного масла. В семенном ядре содержится до 17 % белков, в том числе токсальбумин рицин – сильно ядовитое вещество. Ядовит также содержащийся там же в количестве 0,1—1 % ризицин – пиридиновый алкалоид с циангруппой. Все части растения содержат белок рицин и алкалоид ризицин, ядовиты для человека и животных (ЛД₅₀ около 500 мкг). Прием внутрь семян растения вызывает энтерит, рвоту и колики, кровотечения из ЖКТ, нарушение водно-электролитного баланса и смерть через 5-7 дней. Вред здоровью непоправим, выжившие не могут полностью восстановить здоровье, что объясняется способностью ризицина необратимо разрушать белки тканей человека. Вдыхание порошка ризицина аналогично поражает лёгкие. Рицин исследовался в некоторых странах в качестве потенциального оружия массового поражения и диверсионного яда. Все наружные части этого растения содержат в своем составе смертельный яд [1].

Все части этого растения дурмана содержат алкалоид с наркотическим эффектом. В листьях дурмана содержится главным образом алкалоид гиосциамин (до 0,5 %), а также скополамин и атропин, которые преимущественно содержатся в семенах и цветках растения. Препараты листьев дурмана оказывают успокаивающее действие на центральную нервную систему за счёт содержащегося в них скополамина. Обладают спазмолитическим действием и способствуют понижению секреторной функции железистого аппарата. Лист дурмана входит в состав противоастматических сборов, используется еще как галлюциноген. Всё растение дурмана сильно ядовито, особенно семена, вследствие содержания в нём алкалоидов, относящиеся к тропанам. Алкалоиды дурмана объединяют в группу, так называемую *страмонины*, или *датурины*, они обладают атропиноподобным действием, то есть оказывают спазмолитическое действие на гладкую мускулатуру, расширяют зрачки, повышают внутриглазное давление, вызывают паралич аккомодации, подавляют секрецию железистого аппарата, учащают сокращения сердца. Действие алкалоидов дурмана на центральную

нервную систему различно: гиосциамин повышает возбудимость нервной системы, а скополамин – понижает её. Моторное возбуждение, резкое расширение зрачков, гиперемия кожных покровов лица и шеи, сухость слизистой рта, охриплость голоса, частый пульс, головная боль, сильная жажда, в последующем развивается коматозное состояние.

Библиографический список

1. Австахова В.Г. Загадки ядовитых растений. – М.: Лесная промышленность, 1977.

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

МЕРОПРИЯТИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ УСЛОВИЙ ТРУДА НА ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ТЭЦ

В 2011г. выполнен ремонт комнаты начальника смены КТЦ и комнаты приёма пищи КТЦ в главном корпусе, с установкой системы кондиционирования. Для улучшения освещённости на рабочих местах в лаборатории главной схемы ЭТЛ электроцеха, мастерской кабельного хозяйства ЭЦ, группе учёта ПТО, лаборатории топлива ХЦ, главном корпусе, помещениях ЦТС и ТЦ проведены работы по замене и установке современных светильников. Оперативный и ремонтный персонал в течение года обеспечивался аккумуляторными фонарями, наушниками, «берушами», для лаборатории металлов и ЦТС приобретены налобные аккумуляторные фонари. Для улучшения микроклимата на рабочих местах в ПТО, кабинете главного инженера, общем отделе, в мастерских цеха ТАИ, в АТС, в СЛиОП установлены жалюзи на окна. Для улучшения санитарно-бытового обеспечения работников в течение года, приобретались сменные картриджи фильтров для воды. В 2011г. выполнен ремонт комнаты приёма пищи химического цеха. Также, для улучшения санитарного состояния была проведена частичная замена сантехнического оборудования.

В декабре 2011г. проведён производственный контроль на новых рабочих местах по условиям труда. Затраты на производственный контроль по условиям труда в 2011г.

Персонал станции обеспечен в необходимом количестве средствами защиты от воздействия опасных и вредных производственных факторов, в том числе комплектами костюмов из термостойких материалов для защиты электротехнического персонала от воздействия электрической дуги.

В 2012 г. выполнены мероприятия, включённые в план по статье «Эксплуатация и ремонт»:

- оборудование душевой ЦТС водонагревателем электрическим «Термекс» на 150л, на период летнего останова станции;
- тележка для снятия колёс грузовых автомобилей;
- на основании предварительных результатов аттестации рабочих мест 2013 года, для устранения неионизирующего излучения было проведено заземление сетевых фильтров.

Ход выполнения мероприятий, намеченных по результатам проведенной аттестации рабочих мест по условиям труда. Перевод рабочих мест, аттестованных по вредности и опасности факторов производственной среды и трудового процесса с классами 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 в аттестованные классы 1 или 2 с оптимальными или допустимыми классами условий труда. Внесение соответствующих изменений в формы ОТ, 1Т.

В 2012 году в служебно-бытовом корпусе отремонтированы кабинеты 218, 303, 501, 603. Также отремонтированы бытовые помещения для персонала в депо, лаборатория аппаратчиков ХЦ ОВК. В 418 кабинете проведен ремонт осветительной арматуры. В коридоре эвакуационного выхода на 2 этаже положен противопожарный линолеум. Произведен ремонт кровли гаража в автотранспортной службе.

Библиографический список

1. **Годовой** отчет по ОТ за 2011 г.
2. **Годовой** отчет по ОТ за 2012 г.

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

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ УСТАНОВЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ВЫБРОСОВ ПРОЕКТИРУЕМЫХ И ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Проект нормативов предельно допустимых выбросов (проект ПДВ) разрабатывается на основании Закона Российской Федерации "Об охране атмосферного воздуха", "Методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий" ОНД-86, Санитарных норм проектирования промышленных предприятий СН-244, ГОСТа 17.2.3.02-78 и других нормативных правовых и методических документов [1, 2, 3].

ПДВ – это норматив выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, который устанавливается для стационарного источника загрязнения атмосферного воздуха с учетом технических нормативов выбросов и фоновое загрязнение атмосферного воздуха, при условии не превышения данным источником гигиенических и экологических нормативов качества атмосферного воздуха, предельно допустимых (критических) нагрузок на экологические системы и других экологических нормативов [1].

Значение ПДВ (г/с) для одиночного источника с круглым устьем определяется по формуле:

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК} - c_{\phi}) H^2}{A F m n \eta} \sqrt[3]{V \Delta T}, \quad (1)$$

где A - коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы; F - безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе (для газов $F = 1$); m и n - коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса (эти коэффициенты зависят от V - расхода газовой смеси, м³/с); H - высота источника выброса над уровнем земли, м; η - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности (для ровной или слабопересеченной местности $\eta = 1$); ΔT (°C) - разность между температурой выбрасываемой газовой смеси T_2 и температурой окружающего атмосферного воздуха T_0 .

Формула (1) применяется, когда фоновая концентрация c_{ϕ} загрязняющего вещества меньше его предельно допустимой концентрации, $c_{\phi} < \text{ПДК}$.

Для новых источников выбросов (проектируемых предприятий) величина ПДВ устанавливается равным максимально возможному выбросу вещества M_m , г/с, при максимальной нагрузке, соответствующей нормальной работе технологического и газоочистного оборудования. При этом сумма максимальной концентрации вещества c_m в приземном слое воздуха от данного источника выбросов и c_{ϕ} не должна превышать ПДК:

$$c_m(M_m) + c_{\phi} \leq \text{ПДК}, \quad (2)$$

где $c_m(M_m)$ - зависимость максимальной концентрации вещества c_m в приземном слое воздуха от максимально возможного выброса вещества M_m :

$$c_m = \frac{A \cdot M_m \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}}. \quad (3)$$

Для действующих источников выбросов предприятий, если выполняется условие (2), ПДВ устанавливается аналогично, $ПДВ = M_m$.

В тех случаях, когда не выполняется условие экологической безопасности (2) величина ПДВ определяется по формуле (1).

В нормативных документах не четко указано должны ли величины V , m , n в формулах (1) и (3) быть разными.

По нашему мнению расход газовой смеси V в формуле (1) должен соответствовать ПДВ ($V = V_{ПДВ}$), а в формуле (3) – M_m ($V = V_m$).

Для учета взаимосвязи массовых и объемных расходов выбросов следует учитывать, что при изменении массы выброса вещества изменяется и расход газов. В первом приближении можно принять, что концентрация вещества в устье трубы при изменении массы выброса остается неизменной:

$$c_v = M_m / V_m = ПДВ / V_{ПДВ}. \quad (4)$$

Учет зависимости (4) позволит уточнить расчет ПДВ, используя в (1):

$$V_m = V_{ПДВ} = ПДВ V_m / M_m = ПДВ / c_v.$$

Выполнено расчетное сравнение методов определения ПДВ.

Библиографический список

1. **Методика** расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. Л.: Гидрометеоздат. – 1997.
2. **Методическое пособие** по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух/ Доп. и перераб. – СПб.: ФС РОСТЕХНАДЗОР. – 2005. (www.gosthelp.ru/text/Methodicheskoe_posobie_Metod2.html)
3. **Информационное письмо** по вопросу применения ряда разделов «Методического пособия по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух», СПб, 2012г.

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

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЙ С ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЙ

При наличии в воздухе рабочей зоны паров и газов, выделяемых в производственных процессах, комфортность условий труда обеспечивается системой приточно-вытяжной вентиляции. Основные характеристики и режимы работы системы вентиляции зависят от температуры окружающей среды, выделяющейся в помещении влаги, производимой продукции, наличия пыли в воздухе и определяются в процессе проведения расчетов, особенности которых рассмотрены ниже.

Объем воздуха V_B , необходимый для удаления избыточной теплоты, рассчитывается по формуле:

$$V_B = \frac{3,6 \cdot Q}{(t_{вн} - t_{пн}) \cdot \lambda_B \cdot \rho_B}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где Q - количество выделяющейся в помещение избыточной теплоты, Вт/ч; $t_{вн}$ и $t_{пн}$ - нормально допустимая температура воздуха в рабочем помещении и температура поступающего (наружного) воздуха, °С; λ_B - удельная теплоемкость воздуха, кДж/кг·°С; ρ_B - плотность приточного воздуха, кг/м³.

Количество поступающей в помещение избыточной теплоты Q , Вт/ч, зависит от технологии производства, от применяемого оборудования, от времени года, от условий хранения готовой продукции и от других влияющих факторов, и вычисляется как сумма:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3,$$

где Q_1 - величина теплового потока от поверхностей оборудования, трубопроводов, батарей отопления и других агрегатов, Q_2 - тепловой поток от хранимой в рабочем помещении горячей продукции, Q_3 - тепловой поток от работающих электрических нагревательных и силовых устройств.

Величина теплового потока в час Q_1 , (Вт/с, кДж/ч), образующегося при выделении теплоты поверхностями оборудования, трубопроводами, батареями отопления и другими агрегатами определяется по формуле:

$$Q_1 = F \cdot K \cdot (t_{пов} - t_{норм}),$$

где F - площадь тепловыделяющей поверхности, м²; K - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·ч·°С), кДж/(м²·ч·°С); $t_{пов}$ - температура тепловыделяющей поверхности, °С; $t_{норм}$ - нормально допустимая температура воздуха в рабочем помещении, °С

Тепловой поток Q_2 , (Вт/с, кДж/ч), образующийся при выделении теплоты хранимой в рабочем помещении горячей продукции определяется по формуле:

$$Q_2 = M \cdot C_M \cdot (t_M - t_{норм}) \cdot \beta,$$

где M - масса нагретой продукции, хранимой в рабочем помещении, кг; C_M - теплоемкость материала хранимой продукции (усредненная теплоемкость нагретой массы продукции), Вт/кг·°С; t_M - температура массы продукции по фактическому замеру, °С; $t_{норм}$ - нормально допустимая температура воздуха в рабочем помещении, °С; β - поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность остывания массы продукции.

Тепловой поток Q_3 , кВт, образующийся при выделении теплоты от работающих электрических нагревательных и силовых устройств при переходе электрической энергии в тепловую определяется по формуле:

$$Q_3 = P \cdot \eta \cdot f \cdot \varphi,$$

где P - установочная мощность электрических устройств, кВт; η - коэффициент перехода электрической энергии в тепловую; f - коэффициент использования установочной мощности электрических устройств; φ - поправочный коэффициент, учитывающий одновременность работы тепловыделяющих электрических устройств.

Окончательным результатом расчета теплового воздухоотода является величина кратности воздухообмена N , 1/ч, определяемая как отношение объема V_B воздуха, необходимого для удаления избыточной теплоты Q , к объему рабочего помещения V_P :

$$N = \frac{V_B}{V_P}.$$

Объем воздуха V_B , м³/ч, необходимый для удаления паров, рассчитывается по формуле:

$$V_B = \frac{W \cdot 10^3}{(d_y - d_n) \cdot \rho_B},$$

где W - количество выделяющейся в помещение влаги, кг/ч; d_y , d_n - количество водяных паров в удаляемом из помещения воздухе и в воздухе, поступающем в помещение, г/кг; ρ_B - плотность воздуха при данной температуре, кг/м³.

Плотность воздуха ρ_B при разных температурах и давлении вычисляется по формуле:

$$\rho_B = \frac{\rho_0 \cdot H}{(1 + \alpha_p \cdot t) \cdot 760},$$

где ρ_0 - плотность воздуха при $t = 0$ °С и давлении $H = 760$ мм ртутного столба; $\alpha_p = 0,00367$ град - коэффициент расширения воздуха при постоянном давлении.

Значения d_y и d_n определяются по диаграмме зависимости относительной влажности атмосферного воздуха от температуры

Количество выделяющейся в помещении влаги W зависит от условий, в которых находится рассматриваемое производственное помещение и рассчитывается по формуле:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4,$$

где W_1 - выделение влаги путем испарения с некоторой поверхности, W_2 - выделение влаги и газов через неплотности в различных соединениях оборудования, W_3 - выделение газов и паров со свободной по-

верхности жидкости, содержащей химические вещества, W_4 - выделение влаги от хранящейся остывающей готовой продукции.

Количество влаги W_1 , кг/ч, выделяемой путем испарения с некоторой поверхности размером F , m^2 , рассчитывается по формуле:

$$W_1 = F \cdot (a + 0,017 \cdot v) \cdot (P_2 - P_1),$$

где F - поверхность испарения воды (зеркало испарения); a - фактор гравитационной подвижности окружающей среды; при оценочных расчетах принимается равным: при температуре воды, не превышающей $30^\circ C$ - 0,022; при температуре воды от $31 \dots 40^\circ C$ - 0,028; v - скорость воздуха над источником испарения, м/с; P_2, P_1 - давление водяных паров при давлении насыщения, давление водяных паров в воздухе помещения при данной температуре, Па.

Количество влаги, пыли и газов W_2 , кг/ч, выделяемое через неплотности в различных соединениях оборудования вычисляется по формуле:

$$W_2 = 10^{-2} \cdot \eta \cdot k_3 \cdot \frac{P}{P_0} \cdot V_{\text{сум}} \cdot \rho,$$

где η - коэффициент, учитывающий часовые потери герметичности, k_3 - коэффициент запаса, определяющий состояние оборудования; P - рабочее давление в оборудовании, Н/м²; P_0 - давление в рабочем помещении, Н/м²; $V_{\text{сум}}$ - внутренний суммарный объем всего оборудования и коммуникаций, установленных в данном рабочем помещении, м³; ρ - плотность паров и газов, выделяющихся через уплотнения, кг/м³.

Выделение газов и паров со свободной поверхности жидкости, содержащей химические вещества. Объем газов и паров, выделяемых со свободной поверхности жидкости, содержащей химические вещества W_3 , кг/ч, рассчитывается по формуле:

$$W_3 = M_m \cdot (0,000352 + 0,000786 \cdot V) \cdot \beta \cdot F,$$

где M_m - относительная молекулярная масса испаряющейся жидкости; V - скорость перемещения воздуха над поверхностью испарения, м/с; β - упругость пара жидкости, насыщающего воздух при температуре жидкости, Па; F - площадь поверхности испарения, м².

Количество влаги, выделяемое от хранящейся остывающей готовой продукции W_4 , кг/ч, вычисляется по формуле:

$$W_4 = \frac{C_{\text{Пп}} \cdot \sigma \cdot 10^2}{T},$$

где $C_{\text{пр}}$ - суточная производительность завода, кг; σ - усушка продукции в %; T - продолжительность работы предприятия в течение суток, ч.

Окончательным результатом расчета является величина кратности воздухообмена N ; определяется отношением объема воздуха (V_B), необходимого для удаления всей влаги W , к объему рабочего помещения V_p .

*Ю.А. Иванкова, студ.; рук. И.Г. Мельцаев, д.с.-х. н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПАСНОСТЬ ТОКСИНОВ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

Многие животные в своем организме содержат постоянно или периодически вещества, токсичные для особей других видов. Введённый даже в малых дозах в организм другого животного ядовитый токсин вызывает серьезные болезненные расстройства, а иногда даже наступает смерть. Существует на планете примерно около 5 тыс. видов ядовитых животных, из них: простейших – 20, кишечнорастворимых – 100, червей – 70, членистоногих – 4 тыс., моллюсков – 90, иглокожих – 25, рыб – 500, земноводных – 40, пресмыкающихся – 100, млекопитающих – 2 вида. На территории СНГ обитает около 1500 видов ядовитых животных. Из них наиболее хорошо изучены змеи, скорпионы, пауки, жуки-нарывники и некоторые другие; менее исследованы – земноводные, рыбы, моллюски и кишечнорастворимые. Одни ядовитые животные имеют особые железы, вырабатывающие яд, другие содержат токсические вещества в тех или иных тканях своего тела, в том или ином количестве. У некоторой части животных имеется ранящий аппарат (так называемые вооружённые ядовитые железы), способствующий введению яда в тело врага или жертвы. У простейших (например, инфузорий) - это трихоцисты, у кишечнорастворимых (гидры, актинии, медузы) – стрекательные клетки, у "жгучих" гусениц – на теле одноклеточные кожные железы с колющими хрупкими волосками, у ряда членистоногих (скорпионов, пчёл, ос) – многоклеточные кожные железы, связанные с жалом, а у рыб – такие же железы, соединённые с шипами на плавниках (например, скорпеновые) и жаберных крышках (морские дракончики).

У многих животных (многоножки, пауки, некоторые двукрылые, клопы, а также змеи) ядовитые железы связаны с ротовыми органами, и яд вводится в тело жертвы при укусе или уколе. Яд служит для за-

щиты или для нападения. У некоторых ядовитых животных, имеющих ядовитые железы, но не имеющих специального аппарата для введения яда в тело жертвы, например у земноводных (саламандр, тритонов, жаб и других), железы расположены в различных участках кожи; при раздражении животного токсин выделяется на поверхность кожи и действует на слизистые оболочки хищника. У ядовитых животных, не имеющих специальных ядовитых желёз, ядовитость вызвана свойствами тех или иных тканей тела и их яд оказывает воздействие только при поедании этих животных другими. Ядовиты могут быть половые железы (у некоторых жуков и кольчатых червей), а также икра у ряда рыб (усачей, маринок), сыворотка крови (например, у угря, мурены, скатов). Многие внутренние паразиты животных также являются ядовитыми организмами. Например, паразитические круглые черви анкилостомиды выделяют токсичные вещества, растворяющие эритроциты. Яд при поступлении в организм оказывает, прежде всего, местное действие, а по мере всасывания в кровь воздействует в целом на весь организм.

В одних случаях местное действие очень сильное, а общее – слабое (ужаливание пчелы), в других случаях, наоборот (укус кобры). Местное действие проявляется в отёке в области укуса, сильной боли, образовании пузырей, разрушении ткани (некроз) и прочее. Общее действие обычно сказывается на нервной, сердечно-сосудистой системах и других органах; проявляется в параличе сердца и дыхательного центра, в воспалении почек, свёртывании крови и так далее, что иногда приводит к летальному исходу. Например, укус самки каракурта вызывает тяжёлую местную и общую реакции; последняя проявляется в возбуждении, судорогах, частичном параличе, а и иногда кончается гибелью пострадавшего. В состав яда входят нейротоксины белковой природы и ферменты гиалуронидаза, фосфид эстераза, холинэстераза и кониказа. При отравлении наблюдаются фибриллярные подергивания скелетных мышц (мышечная дрожь), обильное слюноотечение, повышенное потоотделение, адинамия, зрачки расширяются, слизистые оболочки синюшны, кровяное давление повышается, пульс частый, одышка, сердечный толчок ослаблен, повышается температура тела. Симптомы отравления продолжаются 2-7 часов после укуса, затем клинические признаки постепенно проходят, если не наступает смерть. Действие некоторых ядов буквально молниеносно. Например, у гусеницы сразу наступает паралич, как только жало ядовитой осы аммофилы проколет узел нервной цепочки; мышшь погибает через 3—4 секунды после укуса гюрзы.

Сила действия яда зависит от его природы, дозы, а также от путей его поступления в организм; яд, попавший в кровь, обычно действует гораздо быстрее, чем при попадании его в ткань, бедную кровеносными сосудами (всасывание яда при этом происходит очень медленно). Чувствительность разных животных к одному и тому же яду различна (одно и то же количество яда гремучей змеи смертельно для 24 собак, 60 лошадей, 600 кроликов, 800 крыс, 2000 морских свинок, 30000 голубей). Степень отравления зависит также от массы тела животного и его возраста. Некоторые животные малочувствительны к тем или иным ядам, например, свиньи – к яду гремучей змеи, ежи – к яду гадюки, грызуны, обитающие в пустынях, – к яду скорпионов.

Всех ядовитых животных делят на две большие группы: первично-ядовитых и вторично-ядовитых. К первично-ядовитым относят животных, которые вырабатывают ядовитый секрет в специальных железах или имеющих ядовитые продукты метаболизма. Как правило, ядовитость первично-ядовитых животных является видовым признаком и встречается у всех особей данного вида. К вторично-ядовитым относятся животные, аккумулирующие экзогенные яды и проявляющие токсичность только при приеме в пищу. Примером могут служить моллюски и рыбы, накапливающие в своем теле яд сине-зеленых водорослей, насекомые, питающиеся на пастбищах ядовитыми растениями и другие.

Первично-ядовитые животные различаются по способам выработки яда и его применения, и делятся на активно и пассивно ядовитых. Активно ядовитые животные, имеющие специализированный ядовитый аппарат, снабженный ранящим устройством, называются вооруженными. В типичном случае аппарат таких животных имеет ядовитую железу с выводным протоком и ранящее приспособление: зубы у змей, жало у насекомых, колючки и шипы у рыб.

В деталях строение ядовитого аппарата может варьировать, однако для всех вооруженных насекомых характерно наличие ранящего аппарата, позволяющего вводить ядовитый секрет в тело жертвы парентерально, то есть, минуя пищеварительный тракт. Такой способ введения яда следует признать наиболее эффективным для ядоформирующего организма. Другую группу активно-ядовитых животных составляют организмы, ядовитые аппараты которых лишены ранящего приспособления – невооруженные ядовитые животные. Огромная физическая сила, мощные клыки и острые как бритва зубы - не единственное оружие, применяемое в животном мире [1].

При оценке токсичности зоотоксинов важное значение приобретает их путь введения в организм. В естественных условиях пути введения

определяются особенностями биологии ядообразующего организма и химической природой токсинов. Как правило, белковые токсины (змей, насекомых, паукообразных) вводятся с помощью вооруженного ядовитого аппарата парентерально, так как многие из них разрушаются ферментами пищеварительного тракта. Напротив, токсины небелковой природы эффективны и при поступлении внутрь (токсичные алкалоиды амфибий, токсины некоторых рыб, моллюсков) через ротовой аппарат. Некоторые животные, защищаясь, разбрызгивают свои яды в виде аэрозоля, например жук-бомбардир, плюющая змея. Эффективность такого воздействия зависит во многом от состояния покровов жертвы и локальной концентрации токсичного вещества.

Попавший в организм токсин распределяется неравномерно. Влияние на распределение токсичных соединений оказывают биологические барьеры, к которым относят стенки капилляров, клеточные (плазматические) мембраны, гемато-энцефалический и плацентарный барьеры. При укусах и ужалениях на месте инокуляции яда образуется первичное депонирование токсина, из которого происходит поступление его в лимфатическую и кровеносную системы. Скорость дренирования яда во многом определяет быстроту развития токсичного эффекта. Большинство зоотоксинов подвергается в организме биотрансформации. Биотрансформация в определенной степени обуславливает биологическую устойчивость ряда животных к зоотоксинам. В последнее время в крови некоторых грызунов обнаружены белковые факторы, инактивирующие геморрагическое действие змеиных ядов. При детоксикации и выведении зоотоксинов из организма основная нагрузка приходится на печень и почки – отсюда широкая распространенность поражения этих органов при отравлении. Частично зоотоксины могут выводиться и другими путями, например, через кожу или с молоком кормящей матери, что также необходимо учитывать. Представителями наиболее ядовитых существ в мире относятся. Один единственный укус королевской кобры может убить человека. Ее яд может убить даже взрослого слона в течение 3 часов, если животное было укушено в хобот. Среди представителей змей есть и более ядовитые, чем королевская кобра, но они способны выделить яда в 5 раз больше. При укусе змея тайпан выделяет столько яда, которым можно убить 100 взрослых людей или 250 000 мышей. Ее чрезвычайно нейротоксичный яд - по крайней мере в 200-400 раз более токсичен, чем яд обычной кобры. Через 45 минут после укуса у взрослого человека может наступить смерть. Яд гюрзы, эфы кобры и щитомордника кроме указанных выше симптомов может вызвать еще внутриклеточное свертывание крови.

Вопреки широко распространенному мнению, большинство скорпионов относительно безопасны для людей, поскольку укусы оказывают только местное воздействие (боль, анемия, опухоль). Тем не менее, скорпион под названием Лейрус - очень опасный вид скорпионов, потому что его яд - сильный коктейль нейротоксинов, который вызывает невыносимую боль, затем лихорадку, сопровождаемую комой, конвульсиями, параличом и смертью. Второй вид скорпиона - это черная вдова, который на своем счету имеет наибольшее количество человеческих смертей, вызванных его укусом. Что немаловажно, эти пауки опасны не только своим ядом, но и своим поведением: они не сидят на одном месте и не вьют паутину, они странствуют по земле, прячутся в зданиях, одежде, ботинках, автомобилях, где угодно, что существенно увеличивает риск неожиданно встретить их и быть укушенным.

В дождливых тропических лесах не надо прикасаться к маленьким красивым лягушкам - они могут быть чрезвычайно ядовиты. К примеру, размер Золотистого древолаза - всего 5 см, а яда в нем достаточно, чтобы убить 10 взрослых людей. Одна мраморная улитка-конус столько смертельного яда, что способна убить 20 человек. Признаками укуса являются сильная боль, опухоль, онемение, в серьезных случаях наступает паралич и отказ дыхания, противоядия не существует.

Библиографический список

1. **Пигулевский, С.В.** Ядовитые животные. Токсикология беспозвоночных./ С.В. Пигулевский. Л.- 1975.

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

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО РИСКА

Характерной особенностью трудовой деятельности персонала предприятий является воздействие на работников вредных и опасных факторов, угрожающих здоровью, а порой и жизни. В то же время для обеспечения безопасных условий труда и сохранения здоровья работников необходимы достоверное знание и объективный учет характера и уровня воздействия различных вредных и опасных производственных факторов.

Основным направлением повышения безопасности условий труда в современных условиях является системный подход, основанный на анализе и оценке рисков, обусловленных спецификой производствен-

ных процессов. Методической основой данного подхода является понятие профессионального риска нанесения ущерба здоровью человека условиями профессиональной деятельности. Успехи, достигнутые отечественными специалистами в области анализа и управления риском [1,2,4,6,7], позволяют в настоящее время обеспечить разработку метода комплексной оценки производственного риска с учетом влияния всех возможных факторов: угроз техногенного характера, аварийных ситуаций, несовершенства технологий, производственных нарушений и воздействия вредных условий производства.

При оценке производственного риска, учитывающей воздействия вредных условий производства, возникает необходимость разработки процедур наиболее полного учета влияния на здоровье работников несмертельных травм и профессиональных заболеваний. С этой целью оценку профессионального риска предлагается определять в единицах потерянной продолжительности жизни или потерянного здоровья с учетом частоты смертельных несчастных случаев, травм, приводящих к временной или постоянной нетрудоспособности, а также заболеваний, связанных с профессиональными условиями. Этим показателем является индекс вреда (средняя потеря ожидаемой продолжительности жизни), учитывающий общую потерю времени в годах в результате воздействия всех форм профессионального вреда.

Вероятность наступления постоянной потери трудоспособности работника определяется на основании данных по результатам аттестации рабочих мест по условиям труда. Среднее ожидаемое время сокращения продолжительности жизни (дней) за каждый год работы во вредных условиях в зависимости от класса вредности условий труда [5] определяется в соответствии с табл. 1.

Таблица 1 - Среднее время сокращения продолжительности жизни в зависимости от класса условий труда

Класс и степень вредности условий труда в соответствии с Р 2.2.2006	Среднее время сокращения продолжительности жизни ($C_{пж}$), год/чел.
1	0
2	менее 0,01
3.1	0,01-0,3
3.2	0,3-0,8
3.3	0,8-3
3.4	3-8
4	15

Время сокращения продолжительности жизни в результате травм и заболеваний, вызывающих временную нетрудоспособность, может быть определено также по отчетам, в которых приводятся сведения об

общих потерях рабочего времени. В случае необходимости эти сведения могут быть получены расчетным путем на основании достоверных оценок потерь рабочего времени от различных заболеваний и травм, которые определены специалистами [3].

Библиографический список

1. **Быков А.А., Мурзин Н.В.** Проблемы анализа безопасности человека, общества и природы. – С.-Пб.: Наука, 1997.
2. **Быков А.А., Акимов В.А., Фалеев М.И.** Нормативно-экономические модели управления риском // Проблемы анализа риска. / 2004. – 1, №2. – С.125–137.
3. Воздействие на организм человека опасных и вредных экологических факторов, серия справочников, «Экометрия», М., 1997.
4. **Воробьев Ю.Л., Малинецкий Г.Г., Махутов И.А.** Управление риском. Риск. Устойчивое развитие, «Наука», М., 2000.
5. **Гигиена труда**, руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки: Р.2.2.1766-03.
6. **Елохин А.Н.** Анализ и управление риском: теория и практика. – М., Страховая группа «ЛУКОЙЛ», 2000, 186 с.
7. **Стратегические** риски России: оценка и прогноз МЧС России; под общ. ред. Ю.Л. Воробьева. – М.: Деловой экспресс, 2005. – 392 с.

*А.И. Крупина, студ.; рук. И.Г. Мельцаев, д.с.-х. н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ ФИТОТОКСИНОВ НА СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ ЛЮДЕЙ

Ядовитые растения – это растения, содержащие специфические вещества, способные при определенной экспозиции (дозе и длительности воздействия) вызывать болезнь или смерть человека или других животных. Яды, которые вырабатывают растения, называют фитотоксинами. В растительном мире существуют тысячи ядовитых веществ, которые обычно делят в зависимости от их химической природы на несколько групп. Например, выделяют алкалоиды, гликозиды, фитотоксины, фотосенсибилизирующие пигменты, сапонины, минеральные яды и другие. Их можно также классифицировать по клинической картине отравления. Различают нейротоксины, печеночные и почечные яды, вещества, раздражающие пищеварительный тракт, вызывающие остановку дыхания, повреждающие кожу, вызывающие пороки развития. Иногда одно вещество относится сразу к нескольким химическим классам или действует на несколько систем органов.

Установлена токсичность около 700 видов североамериканских растений. Они известны во всех крупных таксономических группах – от водорослей до однодольных растений. Существуют ядовитые одно-клеточные, папоротники, голосеменные и покрытосеменные.

По типу воздействия фитотоксины подразделяются на общие гликозиды и гликозиды направленного действия.

Гликозиды – это сложные, безазотистые органические вещества, молекула которых состоит из углевода и не углеводного компонента, так называемого агликона (генина). Агликонами могут быть остатки соединений жирных, ароматических и гетероциклических рядов. Гликозиды широко распространены в окружающей природной среде, особенно в растительном царстве. Многие из них применяются в лечебной практике (в качестве витаминов, антибиотиков, сердечных средств) и обладают токсичными свойствами. Лекарственные гликозиды встречаются в различных частях однолетних и многолетних растений. В их состав входят моносахариды, возможно присоединение и нескольких молекул сахара.

По химическому составу агликонов лекарственные гликозиды классифицируют на фенолгликозиды, тиогликозиды, нитрилгликозиды (циангликозиды), гликозид-производные фенилбензо-у-пирона (флавоны); антрагликозиды; гликозиды-производные 1,2-циклопентанофенантрена, сапонины, другие гликозиды. К фенолгликозидам относятся гликозиды, выделенные из листьев толокнянки (например, арбутин). Препараты гликозидов этой группы применяются как мочегонные и дезинфицирующие средства. К тиогликозидам относится синигрин, выделенный из семян чёрной горчицы, а также гликозиды, содержащиеся в растениях семейства крестоцветных, обладают токсичными свойствами. К нитрилгликозидам относятся гликозиды, содержащиеся в ядрах костянок горького миндаля, вишни, абрикосов (амигдалин), льне (линамарин), в торговых растениях (дуррин) и другие. Являясь источником образования синильной кислоты, они играют большую роль в фитотоксикологии. К гликозидам - производным фенил-бензапирена относятся жёлтые растительные пигменты, встречающиеся во многих растениях. Флавоновые гликозиды устраняют повышенную проницаемость и хрупкость капилляров, оказывают гипотензивное действие, предохраняют от окисления аскорбиновую кислоту. Антрагликозиды встречаются в различных видах растений: кассии, сабуре, крушине. Некоторые препараты этих растений применяются в качестве слабительных средств. Гликозиды – производные 1,2-циклопентанофенантрена (например, гликозид, горицвета, ландыша) представляют наиболее важную группу лекарственных гликози-

дов, обладающих выраженной кардиотонической активностью. Сапонины обнаружены более чем в 150 видах растений семейства лютиковых, лилейных, бобовых, гвоздичных, первоцветных и других. Гликозиды, относящиеся к этой группе, с водой образуют суспензию подобно мылу, сильно пенящиеся коллоидные растворы; являются клеточными ядами. Другие гликозиды в химическом отношении слабо изучены. Некоторые из них применяются в качестве горечей. Горькие вещества в форме гликозидов содержат трилистник, одуванчик лекарственный и другие растения. Сердечные гликозиды – ядовитые вещества растительного происхождения, в малых дозах они стимулируют сердечную деятельность. Используются для лечения сердечных и других заболеваний. Под воздействием кислот распадаются на сахар и агликон (стероид). Свободные агликоны сердечных гликозидов (генины) – сильные яды, которые в медицине не применяются; среди них наиболее хорошо изучен строфантин (конваллатоксигенин), его содержат ландыш, кендырь конопляный желтофиоль. Известны также и другие агликоны, так например, дигитоксигенин, диоксигенин, гитоксигенин, периплогенин, сарментогенин, адонитоксигенин и так далее. Необходимо различать отравление и инфекцию, которые вызывают бактерии или грибы. Инфекционные агенты поселяются в другом организме, разрушая ткани, размножаясь за их счет. Ядовитые же организмы выделяют токсичные вещества, которые действуют независимо от того, жив ли образовавший их организм или мертв, присутствует он или уже отсутствует в момент отравления. Отравление следует отличать и от аллергических реакций, возникающих при действии на них особых веществ – аллергенов, присутствующих, в частности, в некоторых растениях. Так, например, возникающая сыпь на коже при прикосновении к сумaxe укореняющейся или близким к ней видам – это аллергическая реакция на определенные вещества, которые присутствуют в этих растениях. Неоднократный контакт с аллергеном значительно повышает чувствительность к нему. Покраснение и раздражение кожи вызываются некоторыми веществами и без сенсибилизации, например млечным соком молочаев или секретом жгучих волосков крапивы. Локальный солнечный ожог, иногда многие месяцы сохраняющийся в виде темного пигментного пятна, может возникать на фоне воздействия псоралена на влажную кожу. Это фенольное соединение присутствует в пастернаке посевном, ясенце белом, цедре лайма, борщевике Сосновского и некоторых других растениях [1].

Природа отравления зависит от тех реакций, которые протекают в живом теле, а также от того, в какой мере яд накапливается в организме и каким образом выводится из него. В некоторых случаях ядовитое

вещество образуется в тканях живого организма из безвредного предшественника, присутствующего в растении. Так, при жевании листьев дикой сливы из содержащихся в них безобидных гликозидов высвобождается цианид. Однако в большинстве случаев растительные токсины проявляют свое действие без предварительного химического изменения. Яды, вырабатываемые растениями, служат химическими факторами, участвующими в межвидовых взаимоотношениях и для защиты от животных-фитофагов. Специфическая черта всех растений — борьба с врагами преимущественно мерами химической защиты. Их употребление представляет серьёзную опасность для жизни человека и животных. При этом в разряд ядовитых попадает сравнительно небольшое число видов, в основном содержащие алколоид, причём среди них многие относятся к лекарственным растениям. При поедании яд попадает в первую очередь в ротовую полость. Затем он проходит в следующие отделы пищеварительной системы (не обязательно повреждая их) и может всасываться или выводиться наружу. После всасывания он поступает в воротную вену печени и в саму печень. В печени может произойти его детоксикация и выделение с желчью, но может вызвать повреждение клеток печени или пройти через нее и попасть с кровью в другие органы и ткани — в этом случае возможно поражение всего организма или только некоторых чувствительных к яду органов. Токсичность растений может различаться в зависимости от положения вида в географическом ареале, погодных условий года, стадии онтогенеза и фазы и от ряда других причин.

Так например, из смолистых выделений конопли получают опасные наркотики, известные как гашиш, марихуана, анаша, которые вредны для здоровья человека. В состав сложных соединений конопли входят более 400 химических элементов, 60 из них каннабиноиды. Марихуана принимается в виде жидкости или в форме еды, психоактивные эффекты возникают и при жевании её листьев. Но в большинстве случаев употребляется в форме курительной сигареты. Она нарушает кислотность желудочного сока, вызывает всевозможные расстройства пищеварения, сухость во рту, иногда неконтрольный смех, забывчивость и временную потерю памяти, крайнюю вялость, нерегулярные приступы паранойи, галлюцинации, отсутствие стремлений, отупение, сильные перемены в настроении и в поведении, когда человек находится в состоянии наркотического опьянения и другие явления.

Нервно-психические воздействия марихуаны порождает краткосрочное ухудшение памяти, понимания, влечёт за собой изменение восприятия времени и пространства, создаёт повышенную тактильную чувствительность, обостряет зрительные и слуховые восприятия,

обоняние, снижает болевой барьер, приводит к изменениям в сфере сексуальных эмоций, влечёт потерю осознания себя как личности, порождает психоз. Влияет на мыслительную способность, способность к пониманию, абстрактному мышлению, обучению и на ближнюю память, может вызвать состояние паники, беспокойства и токсичные психозы. Долговременное потребление приводит к структурным и функциональным изменениям в организме. Она снижает содержание тестостерона у мужчин, основного мужского гормона. Продолжительное применение может изменить гормональный фон настолько, что нарушается развитие половой функции. В тяжелых случаях наблюдается уменьшение числа репродуктивных клеток и их подвижность, увеличение числа аномальных клеток. Она также отрицательно воздействует на репродуктивную систему женщин: накапливается в женских репродуктивных органах, изменяет мозговую деятельность, что может привести к нарушениям овуляции и уменьшению плодovitости, оказывает токсичное воздействие на развитие плода во время беременности, вызывая отклонения при вынашивании, тяжелое протекание родов и раннюю смерть младенцев. Так называемый "фетальный синдром марихуаны", характеризующийся снижением веса рожденных детей и отклонениями развития, наблюдается в 5 раз чаще, чем "фетальный алкогольный синдром". Вместе с молоком матери марихуана переходит в детский организм при кормлении. Последствия воздействия марихуаны: хроническая усталость, головные боли, тошнота. Самое страшное, что она приводит к употреблению более сильных наркотиков. Обычная высушенная содержащая психоактивные вещества конопля (марихуана), со стеблями и листьями данного растения содержит 2—4 % тетрагидроканнабинола, 0,31 % каннабинола, 0,05 % других производных каннабиноловой кислоты [2].

Библиографический список

1. **Электронные источники:** http://revolution.allbest.ru/biology/00185119_0.html;
2. http://otherreferats.allbest.ru/biology/00119923_0.html

*А.И. Соколова студ.; рук И.Г. Мельцаев, д. с.-х. н, проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИЧИНЫ И ХАРАКТЕР БАКТЕРИАЛЬНОГО ПИЩЕВОГО ОТРАВЛЕНИЯ ЛЮДЕЙ

К бактериальным пищевым отравлениям относят заболевания различной природы, возникающие при употреблении пищи, содержащая болезнетворные микроорганизмы или их токсины либо другие ядови-

тые для организма вещества немикробной природы. В отличие от кишечных инфекций, пищевые отравления не контагиозные, не передаются от больного человека к здоровому. Эти заболевания могут возникать в виде массовых вспышек, охватывая значительное количество людей, также групповых и отдельных случаев. Для пищевых отравлений характерно внезапное начало и короткое течение болезни. Возникновение отравлений нередко связано с потреблением какого-либо продукта, содержащего вредное начало. В случаях длительного потребления пищевых продуктов, содержащих вредные вещества (пестициды, свинец и другие), пищевые отравления могут протекать и по типу хронических заболеваний. Клинические проявления отравлений чаще носят характер расстройства желудочно-кишечного тракта. Однако в ряде случаев эти симптомы отсутствуют (при ботулизме, отравлениями соединениями свинца и др.). Наиболее чувствительны к пищевым отравлениям дети, лица пожилого возраста и больные желудочно-кишечными заболеваниями. Нередко у них отравление протекает в более тяжелой форме. Согласно новой классификации, утвержденной Минздравом РФ (И.А. Карплюк [и др.]), пищевые отравления по этиологическому признаку подразделены на три группы:

отравления микробной природы; отравления немикробной природы; отравления не выясненной этиологии.

Роль микроорганизмов в возникновении пищевых отравлений была выяснена в конце XIX столетия. В 1888 г. Гетнеру удалось из умершего от пищевого отравления организма человека и из мяса вынужденно забитого животного, послужившего причиной заболевания, одного и того же возбудителя выделить палочку, которая была названа палочкой Гетнера. В настоящее время в этой группе заболеваний на долю пищевых отравлений микробного происхождения приходится 85-95 %. Пищевые отравления бактериального происхождения протекают по типу токсикоинфекций и токсикозов (интоксикаций). Пищевые токсикоинфекции возникают при употреблении пищи, содержащая массовые количества размножающихся в ней живых микроорганизмов. Пищевые токсикозы связаны с действием токсинов (экзотоксинов) некоторых микроорганизмов, размножившихся в пище.

Заражение пищевых продуктов микроорганизмами и их токсинами происходит разными путями. Так, например, продукты могут заражаться вследствие санитарных и технологических нарушений производства, транспортировки, хранения и реализации продуктов. Продукты животного происхождения (мясо, яйца, рыба) могут быть поражены еще при жизни животного (в случаях инфекционных заболеваний или бактерионосительства у животных). Однако при употреблении зара-

женных микробами пищевых продуктов не всегда возникают пищевые отравления. Продукт становится причиной заболевания только при массовом размножении в нем микроорганизмов или значительном накоплении токсинов. Этим объясняется наибольшее количество пищевых отравлений в теплый период года, когда создаются оптимальные условия для развития микроорганизмов (бактерий).

Исходя из закономерностей распространения и возникновения пищевых заболеваний, предупреждение их на предприятиях пищевой промышленности сводится к трем основным группам мероприятий:

- предупреждение загрязнения пищевых продуктов патогенными микроорганизмами;
- создание условий, ограничивающих жизнедеятельность возбудителей пищевых отравлений;
- обеспечение условий, губительно действующих на возбудителя пищевых заболеваний.

Практика показала, что строгое выполнение комплекса ветеринарно-санитарных и санитарно-гигиенических мероприятий на всех этапах обработки пищевых продуктов – с момента их получения до реализации – обеспечивает защиту пищевых продуктов от загрязнения патогенными микроорганизмами, а широкое использование холода при хранении и тепловая обработка продуктов создают условия, ограничивающие развитие микроорганизмов или вызывает их гибель.

Пищевые токсикозы – это заболевания, возникающие при употреблении пищевых продуктов, содержащих токсины бактерий. К этой группе заболеваний относят стафилококковые токсикозы, ботулизм и микотоксикозы и другие.

Роль стафилококков в возникновении пищевых отравлений впервые определил в 1901 г. П. Н. Лашенков. Он выделил стафилококки из тортов с кремом, послуживших причиной заболевания людей. Среди большой группы стафилококков различают патогенные и непатогенные. Патогенные стафилококки из рода *Staphylokkus* вызывают воспалительные процессы кожи, подкожной клетчатки, носоглотки (ангины, риниты, катары верхних дыхательных путей и др.). Некоторые типы патогенных стафилококков при попадании на пищевые продукты могут вырабатывать энтеротоксин, который вызывает пищевое отравление. В настоящее время установлено шесть серологических типов стафилококковых энтеротоксинов, обозначаемых буквами А, В, С, Д, Е, F. Большинство этих бактерий образует золотистый пигмент. Стафилококковые пищевые отравления могут возникать при употреблении рыбных продуктов. Вкус и запах консервов, осемененных стафилококком, не изменяются, бомбажа банки не наблюдается.

Возможно интенсивное продуцирование энтеротоксина в продуктах растительного происхождения. Так, в картофельном пюре энтеротоксин при комнатной температуре хранения накапливается через 5—8 часов. Следует отметить, что пищевые продукты, прошедшие тепловую обработку и освобожденные от микробов-антагонистов, чаще являются причиной стафилококковых интоксикаций, чем сырые необработанные продукты. Источниками заражения пищевых продуктов патогенными стафилококками являются человек и животное. Наиболее частый путь заражения продуктов – воздушно-капельный, поскольку больные стафилококковыми заболеваниями верхних дыхательных путей (ангины, риниты, фарингиты) активно выделяют их в окружающую среду при дыхании, кашле, чихании.

Ботулизм относится к наиболее тяжелым пищевым отравлениям, возникает при употреблении пищи, содержащей ботулиновой палочки. Возбудитель ботулизма широко распространен в природе; обитает он в кишечнике теплокровных животных, рыб, человека, грызунов, птиц, кошек, в почве, в иле водоемов и других местах. *Clostridium botulum* – спороносная палочка, являющаяся строгим анаэробом. Из шести типов ботулиновой палочки в РФ наиболее распространены варианты А, В, Е, более токсичным является тип А. Токсины каждого типа нейтрализуются только соответствующей антитоксичной сывороткой. Полное разрушение спор отмечено при температуре + 100°C в течение 5—6 ч, при температуре 105°C—в течение 2 ч, при температуре + 120°C споры погибают через 10—20 мин. Обычно токсин инактивируется при кипячении кусков мяса, рыбы и других изделий в течение 50-60 мин. Споры ботулиновой палочки устойчивы к низким температурам и химическим агентам. Они сохраняют жизнеспособность свыше года в холодильных камерах при температуре минус 16°C, хорошо переносят высушивание, оставаясь жизнеспособными около года. При температуре минус 79°C он сохраняет активность в течение 2 мес. Задерживают прорастание спор высокие концентрации поваренной соли (8%) и сахара (55%). Возбудитель ботулизма чувствителен к кислой среде; его развитие задерживается при pH 4,5 и ниже. Это свойство палочки широко используется при производстве консервов, так как в условиях кислой среды ботулиновая бактерия не выделяет токсина. Токсин – возбудитель ботулизма по токсичному воздействию на организм является самым сильным из всех известных бактериальных токсинов; смертельная доза для человека – сотые доли миллиграмма на 1 кг массы тела. В слабокислой среде токсин устойчив, а в слабощелочной (pH 8,0) теряет активность на 90%. Поваренная соль даже при высокой концентрации не вызывает инактивации

токсина. Образование токсина задерживается только при содержании NaCl в пищевом продукте в количестве 11%. Следовательно, если в пищевом продукте уже накопился токсин, то консервирование продукта – соление, замораживание, маринование – не инактивирует его.

Наиболее частой причиной ботулизма являются домашние консервированные продукты. Связано это с тем, что режим обработки консервов в домашних условиях не обеспечивает гибель спор ботулиновой палочки. Ботулизм – крайне тяжелое заболевание, характеризуется высокой летальностью (60-70%). Инкубационный период 12-24 часов, реже - несколько дней, а в отдельных случаях он может сокращаться до 2 часов. Первыми признаками болезни являются недомогание, слабость, головная боль, головокружение и нередко рвота. Затем появляются симптомы расстройства зрения (ослабление зрения, двоение в глазах, дрожание глазных яблок, опущение век). Голос становится слабым, затруднено глотание и жевание. Продолжительность болезни длится от 4 до 8 дней, иногда более месяца. Высокоэффективным лечебным средством является противоботулиновая сыворотка, своевременное введение которой предупреждает смертельный исход. Оптимальные условия развития и токсинообразования ботулиновой палочки создаются при температуре + 25-30°C. Однако образование токсина достаточно интенсивно происходит и при температуре + 37°C. При более низких температурах (+15 ÷ +20°C) размножение микроба и токсинообразование протекают медленнее и полностью прекращаются при температуре + 4°C исключение составляет ботулинус типа В, который выделяет токсин даже при такой температуре

Особое место в профилактике токсикозов принадлежит мероприятиям по улучшению санитарного режима предприятий и соблюдению правил личной гигиены (особенно лицами, занятыми изготовлением готовых кулинарных и кремовых изделий), а также систематическому повышению гигиенических знаний по вопросам профилактики пищевых отравлений. Не менее важно в профилактике стафилококковых токсикозов обеспечение высокого санитарного уровня, благоустройства и механизации производственных процессов. Чрезвычайно важно создать условия, препятствующие образованию энтеротоксина в пищевых продуктах: хранить продукты и готовые изделия на холоде и соблюдать сроки их реализации.

Наиболее частыми причинами возникновения пищевых токсичных инфекций, выявляемых при обследовании объектов питания, являются:

- работники пищеблока – носители патогенных форм, вызывающих пищевые токсикоинфекции и интоксикации;

- несоблюдение поточности обработки сырых и вареных изделий;
- нарушение правил личной гигиены и санитарного режима пищевого предприятия; несоблюдение правил хранения сырья и готовых продуктов.

Благодаря осуществлению санитарно-технических и оздоровительных мероприятий во всех отраслях пищевой промышленности ботулизм, вызванный потреблением продуктов промышленного изготовления чрезвычайно редкое явление. Широкое применение охлаждения и замораживания пищевых продуктов препятствует прорастанию спор и накоплению токсина и является важнейшим мероприятием в борьбе с ботулизмом.

Библиографический список

1. Пивоваров, Ю.П., Королик В.В., Зиневич Л.С. Гигиена и основы экологии человека/Ю.П. Пивоваров [и др.]. Москва «Академия», 2006. 528 с.
2. Позняковский, В.М. Гигиенические основы питания /В.М. Позняковский. –Изд-во Новокузнецк: НГУ, 1996.

*Е.Л. Закурина, студ.; рук. В.П. Строев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ТЭЦ

Ведущими неблагоприятными физическими факторами для работника котельной на ТЭЦ являются неионизирующие электромагнитные поля и излучения, шум, вибрация, освещенность. Находящиеся под напряжением кабельные сети, постоянно работающее электротехническое оборудование создают высокие уровни напряженности электрического поля.

Работа агрегатов сопровождается постоянным высоко- и низкочастотным шумом. Уровни шума оценивались по ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум, общие требования безопасности» и СН 2.24/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий на территории жилой застройки».

Характеристика уровня шумового воздействия на машиниста обходчика котлов свидетельствует, что на рабочих местах котельном цехе уровень шума превышает допустимую величину (65 дБА) на 5 дБА в среднем. Поэтому рекомендуется провести мероприятия по снижению уровня шума.

Расчет звукоизоляции ограждающих конструкций должен проводиться при разработке новых конструктивных решений ограждений, применении новых строительных материалов и изделий. Окончательная оценка звукоизоляции таких конструкций должна проводиться на основании натурных испытаний по ГОСТ 27296.

Звукопоглощающие облицовки, как правило, размещают на потолке и верхних частях стен помещения; рекомендуется облицовывать не менее 60% общей площади.

Такое мероприятие снижает уровни шума в зоне отраженного звука на 4-8 дБ на низких и на 10-12 дБ в области средних и высоких частот, а на рабочих местах в зоне прямого звука до 4-5 дБ.

В вентиляционных установках основными источниками шумового воздействия на окружающую среду являются шум от работы агрегата и аэродинамический шум, создаваемый при движении воздушного потока.

Шум вентиляционной установки, распространяясь по воздуховодам, проникает через приточные или вытяжные решетки в помещения или окружающую атмосферу и может создавать там уровни шума, превышающие допустимые по нормативам.

Для снижения шума вентиляционных установок применяют глушители в виде камер, облицованных звукопоглощающим материалом. Трубчатые глушители представляют собой полностью облицованные каналы круглого или квадратного сечения. Они наиболее просты в изготовлении.

Пластинчатые глушители представляют собой набор параллельно и равномерно расположенных в канале звукопоглощающих пластин, облицованных звукопоглощающим материалом.

Глушители шума с пространственными звукопоглотителями представляют собой вертикально или горизонтально установленные металлические каналы, в которых расположены звукопоглощающие тела. Это наиболее сложные в изготовлении глушители.

Эффективным средством защиты являются противошумные наушники. Имеются наушники противошумные телефонизированные, которые используются для защиты от производственного шума и одновременно организации связи.

Звукоизолирующая способность противошумных наушников составляет от 15 дБ на низких частотах до 40 дБ на высоких.

Может быть рекомендована противошумная каска, которая представляет собой комбинацию защитной каски и наушников.

Средства индивидуальной защиты от шума следует выбирать в зависимости от частотного спектра шума на данном рабочем месте и показателей по снижению шума.

Библиографический список

1. Григорьев В. И. «Тепловые и атомные электрические станции».-М.: Энергоиздат, 1982.-624 с.
2. ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум, общие требования безопасности»
3. СНиП 23-03-2003. Защита от шума
4. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий на территории жилой застройки»

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

ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ТРУДА ПРИ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ИВАНОВСКОЙ ТЭЦ-2

Ивановский филиал ОАО «ТГК-6» – ИвТЭЦ-2 производит электрическую и тепловую энергию. Электроэнергия вырабатывается генераторами. Основная часть энергии передается потребителям, а остальная расходуется на собственные нужды. Вырабатываемая электрическая энергия поступает на повышающие трансформаторы с номинальной мощностью 80000 кВА и трансформаторы собственных нужд с номинальной мощностью 25000 и 63000 кВА. Выдача электрической мощности в систему предусмотрена на напряжение 110 кВ. Напряжение собственных нужд составляет 6 и 0,4 кВ переменного тока и 220 В постоянного тока. Генераторы и трансформаторы запущены в эксплуатацию в период с 1967 по 1987 гг.

Обслуживание всего трансформаторного оборудования закреплено за электрическим цехом ТЭЦ. Силовые трансформаторы обслуживает вместе с другими работниками старший электромонтер по обслуживанию электрооборудования электростанций 5 разряда под руководством заместителя начальника цеха по эксплуатации. При эксплуатации снимаются показания приборов контроля и измерений, фиксируется состояние сигнальных средств, производится отбор проб масла для хроматографического анализа растворенных газов и т.д.

Эксплуатация трансформаторного оборудования сопровождается детерминированными техногенными воздействиями, кроме того воз-

можно возникновение стохастических воздействий вследствие техногенных происшествий. Одним из техногенных происшествий при трансформации электрической энергии является взрывная разгерметизация бака силового трансформатора. Быстрое разрушение внешней оболочки происходит после разложения трансформаторного масла, вызванного дуговым разрядом. Оно может вызывать образование ударной волны.

Задачей научного исследования проблемы безопасности при трансформации электрической энергии выбрано обнаружение процессов и событий, приводящих к возникновению техногенных воздействий. При исследовании составляются описания этих процессов и событий и причинно-следственные модели, которые служат основой для отыскания способов уменьшения вероятности возникновения техногенных происшествий и обуславливают мероприятия по охране труда.

*Ю.А. Тиханова, студ.; рук. В.П. Строев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭРГОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОЧИХ МЕСТ ТЭС

В настоящее время во всех развитых странах происходит процесс полного перехода к автоматизированному производству. Функции управления и контроля, ранее выполнявшиеся человеком, передаются приборам и автоматическим устройствам. Человек, управляющей этой техникой, этими устройствами становится объектом воздействия опасности. Для того чтобы обеспечить максимальную эффективность работы, свести к минимуму возможность человеческих ошибок, необходимо конструировать его рабочий процесс, рабочее место, опираясь на научные подходы, основанные на знании анатомических, физиологических и психологических особенностей, характеризующие человеческие возможности и ограничения.

Целью данной исследовательской работы является изучение эргономических особенностей рабочих мест ТЭС.

Эргономика – это область знаний, которая комплексно изучает трудовую деятельность человека в системе «человек – машина – среда» с целью обеспечения эффективности, безопасности и комфорта трудовой деятельности, разработкой рекомендаций по проектированию новой техники и новой организации труда с позиций требований этой науки.

Область применения эргономики довольно широка: она охватывает организацию рабочих мест, как производственных, так и бытовых, организацию режима труда и отдыха, а также промышленный дизайн.

Работа большого количества сотрудников станций основана на круглосуточном обслуживании промышленного оборудования. Для обеспечения эффективной работы станции необходимо создавать особый режим труда и отдыха сотрудников, с учетом возможной замены их в дни отдыха, болезни и отпуска. Для некоторых работников предусмотрены дополнительные выходные, дополнительные оплачиваемые отпуска. Процессу труда работника, независимо от того, какие функции он выполняет, свойственны присущие ему закономерности, определяющие:

- размещение работника в рабочей зоне;
- положение рабочей зоны;
- последовательность вхождения человека в работу;
- появление, наращивание и снижение утомляемости.

Особенности эргономических требований организации рабочих мест определяются следующими характеристиками работника:

- антропометрическими;
- психологическими;
- психофизиологическими;
- физиологическими;
- гигиеническими.

Для организации рабочего места необходимо решать следующие вопросы: спроектировать рабочую позу; определить зоны рабочего места, в которых можно работать с той или иной степенью удобства; разместить на рабочем месте органы управления и средства отображения информации.

При решении этих вопросов необходимо руководствоваться одним из основных принципов эргономики - принципом экономии рабочих движений.

Общие эргономические требования к организации рабочего места закреплены законодательно в нормативно-правовых документах.

*А.А. Скворцова, студ.; рук. Л.В. Виноградова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОСТОЯНИЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Силовой трансформатор является в энергосистеме одним из важнейших элементов, определяющих надежность электроснабжения. Отказ крупного силового трансформатора в работе может привести к аварии в энергосистеме с широкомасштабными последствиями.

Надежность работы трансформаторного оборудования непосредственно связана с его сроком службы. От продолжительности эксплуатации трансформатора зависят допустимые значения воздействующих режимных факторов и их количество.

В настоящее время в эксплуатации находится большое количество силовых трансформаторов, отработавших свой срок службы.

В соответствии с ГОСТ 11677-85 «Трансформаторы силовые. Общие технические условия» этот срок составляет 25 лет.

По данным РАО ЕЭС России, за 2000 г. доля электрооборудования подстанций 110/220 кВ, прослужившего более 25 лет, составляет 40 %, 15-25 лет-35 %, менее 15 лет – порядка 25 % . К настоящему времени этот процент значительно вырос.

Значительный износ электрооборудования приводит к дополнительным потерям энергии, снижению надежности функционирования, возрастанию аварийности трансформаторов. Анализ статистических данных показывает, что в 2003 -2004 гг. наблюдается значительное увеличение аварийности трансформаторов электростанций и подстанций причины которого связаны со старением трансформаторов и недостаточно эффективной его эксплуатацией. Последствия отказов трансформаторов - это простой мощного генераторного оборудования, сопровождающегося значительным недоотпуском электроэнергии.

Техническое перевооружение трансформаторов идет крайне медленно. Экономическая ситуация, а также общее количество оборудования с длительным сроком службы не позволяют в ближайшие годы провести замену большинства устаревших трансформаторов. Поэтому для поддержания требуемой эксплуатационной надежности трансформаторов очень важными являются диагностический контроль.

Силовой трансформатор, как сложная техническая система (ТС), состоит из подсистем, каждая из которых характеризуется набором показателей – параметров. Для характеристики общего состояния подсистемы можно использовать обобщенный параметр - критерий. Сово-

купность критериев и параметров, отражающих состояние ТС, обычно применяется при формировании некоторого интегрального показателя, характеризующего всю систему. Этот показатель получил название «индекса состояния» (ИС).

Индекс состояния позволяет:

- давать представление об общем состоянии ТС и возможности продолжения ее эксплуатации;
- определять на основе реальных измерений и испытаний, а не путем субъективных предположений и заключений.

Для значительной части трансформаторов, находящихся в эксплуатации, актуальность внедрения ИС обусловлена еще и тем, что в настоящее время крайне необходимо продления срока службы эксплуатации, поскольку их нормативный срок службы уже выработан.

С помощью ИС можно оценить данные, влияющие на срок службы трансформатора и обнаружить приближающийся отказ на ранней стадии и своевременно выполнить техническое обслуживание, обусловленное состоянием объекта.

Библиографический список

1. **Попов Г.В.**, докт. техн. наук, Игнатъев Е.Б. О двух подходах к определению индекса технического состояния электрооборудования (на примере силовых трансформаторов). //Электро. 2012.-№1-с.39-41
2. **Загретдинов И.Ш.** Современное состояние и перспективы развития российской электроэнергетики.// "Новое в российской электроэнергетике". 2008.-№1.-с.3-6.
3. **Рассальский А.Н.**, Козик Н.Н., Левковский А.И., Раскин В.Л, Федосов Л.Л. Система мониторинга и управления для силовых трансформаторов. // "Новое в российской электроэнергетике". 2004-№6-с.33-39.
4. **Никитин О.А.** Электротехническая промышленность для энергетики России. // Электро.2000-№1-с.3-6.

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

ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНТЕРАКТИВНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ»

Научно-технический прогресс развитых стран мира, происходящий в настоящее время, обеспечивает решение задач экономики. Однако, созданные человеком производственные объекты химической, нефтедобывающей, газодобывающей, металлургической, биотехнологиче-

ской промышленности, атомной энергетики и других в случае аварий, катастроф на них представляют большую опасность для окружающей природной среды и самого человека. Постоянно напоминают о себе стихийные бедствия, уносящие человеческие жизни и причиняющие громадный материальный ущерб и усугубляющие экологическую обстановку.

В 2003 году на территории России произошло 838 чрезвычайных ситуаций (348 локальных, 296 местных, 183 территориальных и 11 региональных). В результате этих чрезвычайных ситуаций погибли 1161 человек, 15 тысяч 631 человек пострадали.

В 2012 году на территории РФ возникало 228 техногенных ЧС, в результате которых число погибших составило 600 человек, пострадавших – 24075 человек; 148 природных ЧС, число погибших – 185, пострадавших – 70816 человек; 56 биолого-социальных ЧС. Общее число ЧС – 437, погибших – 819, пострадавших – 95105.

Важное социальное значение имеют профилактика, прогнозирование, заблаговременная подготовка к ликвидации последствий ЧС. Для успешного решения этих задач необходимо знание характеристик стихийных бедствий, аварий и катастроф, современных средств поражения, особенностей зон ЧС и очагов поражения, средств и способов защиты и других сведений о ЧС. Весь объём этой информации должен быть сосредоточен в разрабатываемом курсе дистанционного обучения безопасности в ЧС.

В качестве системы дистанционного обучения (ДО) для разработки курса выбрана система «Moodle», которая является бесплатной и широко распространённой. При дистанционном обучении могут использоваться разнообразные методы донесения учебной информации.

Для проведения интерактивных занятий по дисциплине «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» наряду с разрабатываемым курсом планируется внедрение в учебный процесс программного продукта Adobe Connect, в частности, приложения Adobe Connect Professional Meeting – для проведения встреч и семинаров в реальном времени. Выбранный программный продукт является коммерческим и лицензия на его использование имеется в ИГЭУ.

Преимущественными характеристиками данного приложения являются:

- платформонезависимое решение с поддержкой IP-телефонии, достаточно стандартного web-браузера и flash-плеера на локальном компьютере;

- применение как для встреч с небольшим числом участников, так и для масштабных конференций, причем все участники могут передавать свое изображение при наличии web-камеры.

Одной из форм проведения интерактивных занятий планируется проведение вебинаров (webinar – разновидность web-конференции, онлайн-встреч или презентаций через сеть Интернет). Основным отличием вебинара от web-конференции является использование его для проведения обучения.

Во время вебинара обучаемые, преподаватели и другие участники обучения располагаются у своих компьютеров. Связь между участниками вебинаров поддерживается посредством сети Интернет.

Вебинары позволяют слушателям сэкономить время, которые они затрачивают на обучение, особенно актуально при заочной форме обучения. Слушатель легко может получить доступ к качественному обучению, сегодня стать слушателем вебинара можно практически из любой точки мира.

Использование вебинаров будет постоянно расширяться. Однако необходимо отметить, что целесообразно использовать вебинары совместно с другими средствами дистанционного обучения. В первую очередь с дистанционными курсами. Совместное использование вебинаров с другими средствами дистанционного обучения позволит значительно повысить эффективность дистанционного обучения.

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

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

Радиационная безопасность населения - состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения. *Ионизирующее излучение* - излучение, которое создается при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе и образует при взаимодействии со средой ионы разных знаков.

Как радиация действует на организм человека? Эффекты воздействия радиации на человека обычно делятся на две категории:

1) Соматические (телесные) - возникающие в организме человека, который подвергался облучению;

2) Генетические - связанные с повреждением генетического аппарата и проявляющиеся в следующем или последующих поколениях: это дети, внуки и более отдаленные потомки человека, подвергшегося облучению.

Радиационные эффекты облучения человека можно классифицировать на *соматические эффекты* (лучевая болезнь; локальные лучевые поражения; лейкозы; опухоли разных органов); и *генетические эффекты* (генные мутации; хромосомные аберрации).

Хроническое облучение слабее действует на живой организм по сравнению с однократным облучением в той же дозе, что связано с постоянно идущими процессами восстановления радиационных повреждений. Считается, что примерно 90% радиационных повреждений восстанавливается. Радионуклиды накапливаются в органах неравномерно. В процессе обмена веществ в организме человека они замещают атомы стабильных элементов в различных структурах клеток, биологически активных соединениях, что приводит к высоким локальным дозам. При распаде радионуклида образуются изотопы химических элементов, принадлежащие соседним группам периодической системы, что может привести к разрыву химических связей и перестройке молекул. Эффект радиационного воздействия может проявиться совсем не в том месте, которое подвергалось облучению. Превышение дозы радиации может привести к угнетению иммунной системы организма и сделать его восприимчивым к различным заболеваниям. При облучении повышается также вероятность появления злокачественных опухолей.

Организм при поступлении продуктов ядерного деления подвергается длительному, убывающему по интенсивности, облучению.

Наиболее интенсивно облучаются органы, через которые поступили радионуклиды в организм (органы дыхания и пищеварения), а также щитовидная железа и печень. Дозы, поглощенные в них, на 1-3 порядка выше, чем в других органах и тканях. Среди техногенных радионуклидов особого внимания заслуживают изотопы йода. Они обладают высокой химической активностью, способны интенсивно включаться в биологический круговорот и мигрировать по биологическим цепям, одним из звеньев которых может быть человек.

Первыми среди раковых заболеваний, поражающих население, стоят лейкозы. Распространенными видами рака под действием радиации являются рак молочной железы и рак щитовидной железы. Обе эти разновидности рака излечимы и оценки ООН показывают, что в случае рака щитовидной железы летальный исход наблюдается у одного человека из тысячи, облученных при индивидуальной поглощенной дозе

1 Грей. Данные по генетическим последствиям облучения весьма неопределенны. Ионизирующее излучение может порождать жизнеспособные клетки, которые будут передавать то или иное изменение из поколения в поколение. Однако анализ этот затруднен, так как примерно 10 % всех новорожденных имеют те или иные генетические дефекты и трудно выделить случаи, обусловленные действием радиации. Экспертные оценки показывают, что хроническое облучение при дозе 1 Грей, полученной в течение 30 лет, приводит к появлению около 2000 случаев генетических заболеваний на каждый миллион новорожденных среди детей тех, кто подвергался облучению. В последние десятилетия процессы взаимодействия ионизирующих излучений с тканями человеческого организма были детально исследованы. В результате выработаны нормы радиационной безопасности, отражающие действительную роль ионизирующих излучений с точки зрения их вреда для здоровья человека. При этом необходимо помнить, что норматив всегда является результатом компромисса между риском и выгодой.

Как радиация может попасть в организм? Организм человека реагирует на радиацию, а не на ее источник. Те источники радиации, которыми являются радиоактивные вещества, могут проникать в организм с пищей и водой (через кишечник), через легкие (при дыхании) и, в незначительной степени, через кожу, а также при медицинской радиоизотопной диагностике. В этом случае говорят о внутреннем облучении. Кроме того, человек может подвергнуться внешнему облучению от источника радиации, который находится вне его тела. Внутреннее облучение значительно опаснее внешнего.

Что вокруг нас радиоактивно? По происхождению радиоактивность делят на естественную (природную) и техногенную.

Естественная радиоактивность существует миллиарды лет, она присутствует буквально повсюду. Ионизирующие излучения существовали на Земле задолго до зарождения на ней жизни и присутствовали в космосе до возникновения самой Земли. Радиоактивные материалы вошли в состав Земли с самого ее рождения. Любой человек слегка радиоактивен: в тканях человеческого тела одним из главных источников природной радиации являются калий-40 и рубидий-87, причем не существует способа от них избавиться. Учтем, что современный человек до 80% времени проводит в помещениях - дома или на работе, где и получает основную дозу радиации: хотя здания защищают от излучений извне, в стройматериалах, из которых они построены, содержится природная радиоактивность.

Существенный вклад в облучение человека вносит радон и продукты его распада. Основным источником этого радиоактивного инертного газа является земная кора. Проникая через трещины и щели в фундаменте, полу и стенах, радон задерживается в помещениях. Другой источник радона в помещении - это сами строительные материалы (бетон, кирпич и т.д.), содержащие естественные радионуклиды, которые являются источником радона. Радон может поступать в дома также с водой (особенно если она подается из артезианских скважин), при сжигании природного газа и т.д. Радон в 7,5 раз тяжелее воздуха. Как следствие, концентрация радона в верхних этажах многоэтажных домов обычно ниже, чем на первом этаже. Основную часть дозы облучения от радона человек получает, находясь в закрытом, непроветриваемом помещении; регулярное проветривание может снизить концентрацию радона в несколько раз.

При длительном поступлении радона и его продуктов в организм человека многократно возрастает риск возникновения рака легких.

Техногенная радиоактивность возникает вследствие человеческой деятельности. Осознанная хозяйственная деятельность, в процессе которой происходит перераспределение и концентрирование естественных радионуклидов, приводит к заметным изменениям естественного радиационного фона. Сюда относятся добыча и сжигание каменного угля, нефти, газа, других горючих ископаемых, использование фосфатных удобрений, добыча и переработка руд. Так, например, исследования нефтепромыслов на территории России показывают значительное превышение допустимых норм радиоактивности, повышение уровней радиации в районе скважин, вызванное отложением на оборудовании и прилегающем грунте солей радия-226, тория-232 и калия-40. Особенно загрязнены действующие и отработавшие трубы, которые нередко приходится классифицировать как радиоактивные отходы. Такой вид транспорта, как гражданская авиация, подвергает своих пассажиров повышенному воздействию космического излучения. И, конечно, свой вклад дают испытания ядерного оружия, предприятия атомной энергетики и промышленности.

Как защититься от радиоактивного излучения?

Существует 3 фактора воздействия:

- время – чем меньше продолжительность воздействия, тем лучше;
- расстояние – чем дальше от источника радиации, тем лучше;
- преграды – чем больше препятствий между человеком и источником радиоактивного излучения, тем лучше.

Как только вы узнали о радиационной опасности, возьмите минуту на обдумывание. Если вы находитесь на улице, то вам следует перейти

в помещение. Чем толще будут стены, тем меньше риск радиационного повреждения. Если вы находитесь дома, то плотно закройте окна, заклейте щели скотчем, закройте шторы, можете дополнительно их смочить. После этого направляйтесь в максимально защищенную комнату, обычно ею является ванна.

Чем вы ближе к источнику выброса радиации, тем дольше вам нужно находиться в защитном помещении. В первые часы уровень первичной и вторичной радиации максимален, а дальше многое будет зависеть от погодных условий.

Для оценки уровня снижения радиоактивного излучения применяется правило 7/10, которое означает, что уровень радиации будет уменьшаться в 10 раз через семикратное увеличение времени. Т.е. снижение в 10 раз будет через 7 часов, затем через 49, затем через 2 недели, затем через 3-3,5 месяца, затем через 2,5 года. Стоит ли иметь в ванной запас еды и воды хотя бы на 2-3 дня? Если вы живете в зоне повышенной радиационной опасности, то стоит.

*С.И. Романишин, Д.А. Степанов, студ.;
рук. Г.В. Попов д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОТЛАДКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА «AMBU MAN» ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ

Изучение методов оказания первой медицинской помощи пострадавшему, является важным аспектом обучения специалистов в сфере безопасности жизнедеятельности и охраны труда. Как в обычной жизни, так и на каком – либо производстве, порой происходят происшествия, влекущие за собой самые различные экстремальные ситуации, при которых оказание первой медицинской помощи играет важную роль сохранности человеческой жизни.

Целью данного исследования является изучение методов сердечно-легочной реанимации (в частности искусственной вентиляции легких и наружного массажа сердца) при помощи тренажера Ambu Man и, как следствие, приобретение навыков её правильного выполнения пострадавшим, у которых произошла остановка сердца или дыхания.

Тренажер Ambu Man представляет собой манекен, соответствующий размерам взрослого человека, снабженный инструментальной доской в области живота. В основном, тренажер предназначен для освоения элементов первичной сердечно-легочной реанимации (обеспечение проходимости верхних дыхательных путей, искусственного

дыхания и непрямом массажа сердца). В том числе имеется уникальная возможность изменения ригидности грудной клетки, т.е. изменение её жесткости. Имеется возможность персональной отработки навыков и отработки навыков в команде. С помощью этого манекена может проводиться обучение и постоянный тренинг сотрудников экстренных медицинских и немедицинских служб (спасатели, пожарные, милиция и т.п.), а также обучение широких слоев населения, в том числе и в рамках программ охраны труда.

Данный тренажер имеет возможность работы, как в обычном режиме, так и при взаимодействии с ПК через USB кабель. Взаимодействие с ПК осуществляется при помощи специальной обучающей программы, являющейся дополнением к данному тренажеру. Обучающая программа имеет возможность создания базы данных, в которой может содержаться подробная информация об обучающемся, с записью его всевозможных тренировок.

Отличительной особенностью обучающей программы тренажера Ambu Man, является наличие готовых алгоритмов для обучения сердечно-легочной реанимации.

Среди них содержатся алгоритмы:

- АНА (Ассоциации сердца. Америка),
- ARC (Австралийского совета по реанимации),
- CLAR (Латиноамериканского совета реанимации),
- ERC (Европейского совета по реанимации),
- HSFC (Фонда сердца и инсульта. Канада),
- ILCOR (Международного Комитета по связям Реанимации),
- RCSA (Совета Реанимации Южной Африки).

Также имеется возможность создания новых алгоритмов для отработки навыков сердечно-легочно-мозговой реанимации, при помощи которых, появляется возможность организации индивидуальных тренировок.

Еще одной отличительной особенностью обучающей программы является возможность отдельной отработки навыков, в плане НМС* и ИВЛ*. Обучающийся может отдельно проработать процесс выполнения НМС и ИВЛ и, в конечном итоге, произвести совместное выполнение данных упражнений с итоговой оценкой полученных им навыков. Рассмотрим более подробно оценочную систему обучающей программы тренажера Ambu Man.

В процессе выполнения упражнений, программа пишет, так называемое «поле ЭКГ», как отдельно для НМС, так отдельно и для ИВЛ. Область написания «поля ЭКГ», имеет несколько границ, означающие минимальное, оптимальное и превышающее значение количества по-

ступающего воздуха (при ИВЛ) и силы надавливания на грудную клетку (при НМС).

** Примечание: ИВЛ – Искусственная вентиляция легких, НМС – не прямой (наружный) массаж сердца.*

На графическом изображении «поля ЭКГ», при помощи специальных знаков, указывается неправильная постановка рук (при выполнении НМС) и попадание воздуха в желудок (при выполнении ИВЛ).

Также имеется возможность оценки полученных навыков при помощи количественного и процентного соотношения верно и неверно выполненных действий, согласно алгоритму, который используется в процессе выполнения упражнений сердечно-легочной реанимации.

В заключении хочется сказать, что тренажер Ambu Man. оказывает большой вклад в модернизацию процесса обучения методам сердечно-легочно-мозговой реанимации. Инновационные технологии, делают возможность получения качественных знаний и навыков более доступной, что заметно увеличивает уровень подготовки специалистов в сфере безопасности жизнедеятельности и охраны труда.

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

О ПОКАЗАТЕЛЯХ КОГНИТИВНОЙ АДЕКВАТНОСТИ БЕЗОПАСНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЭС

Требования к установлению показателей когнитивной адекватности работников сформулированы в федеральном законе «Трудовой кодекс Российской Федерации». В статье 143 [1] приводится следующее. «Тарифный разряд – величина, отражающая сложность труда и уровень квалификации работника. Квалификационный разряд – величина, отражающая уровень профессиональной подготовки работника. Тарификация работ – отнесение видов труда к тарифным разрядам или квалификационным категориям в зависимости от сложности труда. Сложность выполняемых работ определяется на основе их тарификации. Тарификация работ и присвоение тарифных разрядов работникам производятся с учетом единого тарифно-квалификационного справочника работ и профессий рабочих (ЕТКС), единого квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и служащих или с учетом профессиональных стандартов».

Некоторые показатели когнитивной адекватности работников, эксплуатирующих силовые трансформаторы ТЭС, приведены в ЕТКС [2]. Например, электромонтер по обслуживанию электрооборудования электростанций должен знать: «назначение и устройство электрооборудования; электрические схемы распределительных устройств электростанции; устройство и назначение средств измерений электрических параметров, выпрямителей переменного тока; назначение, принцип действия и схемы релейной защиты, электроавтоматики, сигнализации; способы нахождения мест повреждения электрооборудования; расположение и технические характеристики основного и вспомогательного оборудования электростанции; технологический процесс производства тепловой и электрической энергии; основы электротехники и теплотехники». Он должен уметь осуществлять: «обслуживание электрооборудования электростанции и обеспечение его надежной работы; контроль за состоянием релейной защиты, дистанционного управления, сигнализации и электроавтоматики, за режимом работы турбогенераторов; оперативные переключения в распределительных устройствах; перевод генераторов с водородного охлаждения на воздушное и наоборот; проверку мегаомметром состояния изоляции электрооборудования; измерение электрических параметров электроизмерительными клещами; выявление и устранение неисправностей в работе обслуживаемого оборудования; ликвидацию аварийных ситуаций на электрооборудовании; вывод электрооборудования в ремонт, подготовку рабочих мест и допуск рабочих для производства ремонтных работ; ввод оборудования в работу». На основании требований ЕТКС составляется должностная инструкция, в которой перечень требований к знаниям и умениям уточняется и конкретизируется.

Незнание и неумение или ошибочное выполнение того, что указано в должностной инструкции может приводить к возникновению техногенных опасностей. Работодатель в соответствии с «Трудовым кодексом РФ» обязан обеспечить: «обучение безопасным методам и приемам выполнения работ и оказанию первой помощи пострадавшим на производстве, проведение инструктажа по охране труда, стажировки на рабочем месте и проверки знания требований охраны труда» [1]. Инструкция по охране труда составляется на основе типовых [3]. Обучение безопасным методам и приемам выполнения работ, проверка знания технологии, требований охраны труда и правил применения средств защиты должны проводиться на основе показателей когнитивной адекватности безопасной деятельности.

Задачей исследования проблемы безопасности при трансформации электрической энергии выбрано нахождение и описание того, что

должен относительно техногенных опасностей знать и уметь работник, эксплуатирующий силовые трансформаторы.

Библиографический список

1. **Федеральный закон** «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 29.12.2012) / [Электронный ресурс]: сайт компании «Консультант Плюс». – Режим доступа <http://www.garant.ru>.

2. **Постановление** Минтруда «Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих. Тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих электроэнергетики» / [Электронный ресурс]: сайт компании «Консультант Плюс». – Режим доступа <http://www.garant.ru>.

3. **РД 34.03.256-93** Типовая инструкция по охране труда для электромонтера по обслуживанию электрооборудования электростанций / [Электронный ресурс]: сайт компании «Консультант Плюс». – Режим доступа <http://www.garant.ru>.

А. А. Посылина, студ., Е. Ю. Черная, студ.;
рук. Г.В. Попов, д.т.н., проф., А. Г. Горбунов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

Мы живем в электромагнитном мире, насыщенном различными благами цивилизации и научно-технического прогресса. Эволюционно сложившихся механизмов нейтрализации электромагнитных полей, имеющих характеристики, отличных от природных, у человека нет. Нас окружают чайники, стиральные машины, утюги, настольные лампы, холодильники, плееры, телевизоры, компьютеры, лифты, трамваи, троллейбусы, метро, одним словом, продукты цивилизации, от которых мы не привыкли отказываться... И, конечно же, источники наиболее интенсивных электромагнитных излучений - мобильные телефоны и микроволновые печи. Являясь открытой системой, живой организм информационно взаимодействует с внешними по отношению к биологической системе электромагнитными полями и излучением. За последние пятьдесят лет искусственные электромагнитные излучения фактически заместили неуловимые (тонкие) энергии естественного мира. 24 часа в сутки мы купаемся в полях-невидимках, излучаемых линиями электропередачи, телевизорами, компьютерами и разнообразнейшими электронными устройствами, без которых мы не представляем своего существования. Кроме того, нас бомбардируют микроволны, радио- и телевизионные передатчики, а также сигналы сотовой телефонной связи. Сегодня электромагнитное облучение в 100 миллионов раз превышает то, что испытывали наши деды. Длительное воздействие искусственных электромагнитных излучений серьезно ухудшают здоровье. Эпидемиологи установили, что раковые заболева-

ния чаще встречаются среди людей, проживающих в непосредственной близости от источников сильных электромагнитных полей, таких, например, как высоковольтные линии электропередачи. Было доказано также влияние электромагнитных полей на выработку шишковидной железой мелатонина, - гормона, играющего не последнюю роль в иммунной системе (его также называют "гормон молодости").

Мы считаем, что данная работа по изучению влияния ЭМП на здоровье человека актуальна в настоящее время.

Хаотичная энергия субчастиц искусственных электромагнитных полей, эта своего рода электромагнитная грязь, действует с огромной разрушительной силой на биоэлектромагнитное поле тела человека, в пределах которого миллионы неуловимых электрических импульсов должны балансировать и регулировать деятельность каждой живой клетки.

Цель данной работы: показать реальную угрозу нанесения неоправданного вреда человеческому организму от электромагнитного излучения и указать способы обеспечения безопасности.

Задачи:

- 1) найти основные источники ЭМП, влияющие на человека;
- 2) показать влияние ЭМП на отдельные системы и органы человека.

Среди основных источников ЭМИ можно перечислить:

- электротранспорт (трамваи, троллейбусы, поезда);
- линии электропередач (городского освещения, высоковольтные);
- электропроводка (внутри зданий, телекоммуникации);
- бытовые электроприборы;
- теле- и радиостанции (транслирующие антенны);
- спутниковая и сотовая связь (транслирующие антенны);
- радары;
- персональные компьютеры.

В СССР широкие исследования электромагнитных полей были начаты в 60-е годы. Был накоплен большой клинический материал о неблагоприятном действии магнитных и электромагнитных полей, было предложено ввести новое нозологическое заболевание "Радиоволновая болезнь" или "Хроническое поражение микроволнами". В дальнейшем, работами ученых в России было установлено, что, во-первых, нервная система человека, особенно высшая нервная деятельность, чувствительна к ЭМП, и, во-вторых, что ЭМП обладает т.н. информационным действием при воздействии на человека в интенсивностях ниже пороговой величины теплового эффекта. Результаты этих

работ были использованы при разработке нормативных документов в России. В результате нормативы в России были установлены очень жесткими и отличались от американских и европейских в несколько тысяч раз (например, в России ПДУ для профессионалов 0,01 мВт/см²; в США - 10 мВт/см²).

Биологическое действие электромагнитных полей

Экспериментальные данные как отечественных, так и зарубежных исследователей свидетельствуют о высокой биологической активности ЭМП во всех частотных диапазонах. При относительно высоких уровнях облучающего ЭМП современная теория признает тепловой механизм воздействия. При относительно низком уровне ЭМП (к примеру, для радиочастот выше 300 МГц это менее 1 мВт/см²) принято говорить о нетепловом или информационном характере воздействия на организм. Механизмы действия ЭМП в этом случае еще мало изучены. Многочисленные исследования в области биологического действия ЭМП позволят определить наиболее чувствительные системы организма человека: нервная, иммунная, эндокринная и половая. Эти системы организма являются критическими. Реакции этих систем должны обязательно учитываться при оценке риска воздействия ЭМП на население.

Биологический эффект ЭМП в условиях длительного многолетнего воздействия накапливается, в результате возможно развитие отдаленных последствий, включая дегенеративные процессы центральной нервной системы, рак крови (лейкозы), опухоли мозга, гормональные заболевания. Особо опасны ЭМП могут быть для детей, беременных (эмбрион), людей с заболеваниями центральной нервной, гормональной, сердечно-сосудистой системы, аллергиков, людей с ослабленным иммунитетом.

Влияние на нервную систему

Большое число исследований, выполненных в России, и сделанные монографические обобщения, дают основание отнести нервную систему к одной из наиболее чувствительных систем в организме человека к воздействию ЭМП. На уровне нервной клетки, структурных образований по передачи нервных импульсов (синапсе), на уровне изолированных нервных структур возникают существенные отклонения при воздействии ЭМП малой интенсивности. Изменяется высшая нервная деятельность, память у людей, имеющих контакт с ЭМП. Эти лица могут иметь склонность к развитию стрессорных реакций. Определенные структуры головного мозга имеют повышенную чувстви-

тельность к ЭМП. Изменения проницаемости гемато-энцефалического барьера может привести к неожиданным неблагоприятным эффектам. Особо высокую чувствительность к ЭМП проявляет нервная система эмбриона.

Влияние на иммунную систему

В настоящее время накоплено достаточно данных, указывающих на отрицательное влияние ЭМП на иммунологическую реактивность организма. Результаты исследований ученых России дают основание считать, что при воздействии ЭМП нарушаются процессы иммуногенеза, чаще в сторону их угнетения.

Влияние на эндокринную систему и нейрогуморальную реакцию

В работах ученых России еще в 60-е годы в трактовке механизма функциональных нарушений при воздействии ЭМП ведущее место отводилось изменениям в гипофиз-надпочечниковой системе. Исследования показали, что при действии ЭМП, как правило, происходила стимуляция гипофизарно-адреналиновой системы, что сопровождалось увеличением содержания адреналина в крови, активацией процессов свертывания крови. Было признано, что одной из систем, рано и закономерно вовлекающей в ответную реакцию организма на воздействие различных факторов внешней среды, является система гипоталамус-гипофиз-кора надпочечников. Результаты исследований подтвердили это положение.

Влияние на половую функцию

Нарушения половой функции обычно связаны с изменением ее регуляции со стороны нервной и нейроэндокринной систем. С этим связаны результаты работы по изучению состояния гонадотропной активности гипофиза при воздействии ЭМП. Многократное облучение ЭМП вызывает понижение активности гипофиза

Любой фактор окружающей среды, воздействующий на женский организм во время беременности и оказывающий влияние на эмбриональное развитие, считается тератогенным. Многие ученые относят ЭМП к этой группе факторов.

Первостепенное значение в исследованиях тератогенеза имеет стадия беременности, во время которой воздействует ЭМП. Принято считать, что ЭМП могут, например, вызывать уродства, воздействуя в различные стадии беременности. Хотя периоды максимальной чувствительности к ЭМП имеются. Наиболее уязвимыми периодами яв-

ляются обычно ранние стадии развития зародыша, соответствующие периодам имплантации и раннего органогенеза.

Было высказано мнение о возможности специфического действия ЭМП на половую функцию женщин, на эмбрион. Отмечена более высокая чувствительность к воздействию ЭМП яичников нежели семенников. Установлено, что чувствительность эмбриона к ЭМП значительно выше, чем чувствительность материнского организма, а внутриутробное повреждение плода ЭМП может произойти на любом этапе его развития. Результаты проведенных эпидемиологических исследований позволят сделать вывод, что наличие контакта женщин с электромагнитным излучением может привести к преждевременным родам, повлиять на развитие плода и, наконец, увеличить риск развития врожденных уродств.

Другие медико-биологические эффекты

С начала 60-х годов в СССР были проведены широкие исследования по изучению здоровья людей, имеющих контакт с ЭМП на производстве. Результаты клинических исследований показали, что длительный контакт с ЭМП в СВЧ диапазоне может привести к развитию заболеваний, клиническую картину которого определяют, прежде всего, изменения функционального состояния нервной и сердечно-сосудистой систем. Было предложено выделить самостоятельное заболевание - радиоволновая болезнь. Это заболевание, по мнению авторов, может иметь три синдрома по мере усиления тяжести заболевания:

- астенический синдром;
- астеновегетативный синдром;
- гипоталамический синдром.

Наиболее ранними клиническими проявлениями последствий воздействия ЭМ-излучения на человека являются функциональные нарушения со стороны нервной системы, проявляющиеся прежде всего в виде вегетативных дисфункций неврастенического и астенического синдрома. Лица, длительное время находившиеся в зоне ЭМ-излучения, предъявляют жалобы на слабость, раздражительность, быструю утомляемость, ослабление памяти, нарушение сна. Нередко к этим симптомам присоединяются расстройства вегетативных функций. Нарушения со стороны сердечнососудистой системы проявляются, как правило, лабильностью пульса и артериального давления, склонностью к гипотонии, болями в области сердца и др. Отмечаются также фазовые изменения состава периферической крови (лабильность показателей). Изменения костного мозга носят характер реактивного ком-

пенсаторного напряжения регенерации. Обычно эти изменения возникают у лиц по роду своей работы постоянно находившихся под действием ЭМ-излучения с достаточно большой интенсивностью. Работающие с МП и ЭМП, а также население, живущее в зоне действия ЭМП жалуются на раздражительность, нетерпеливость. Через 1-3 года у некоторых появляется чувство внутренней напряженности, суетливость. Нарушаются внимание и память. Возникают жалобы на малую эффективность сна и на утомляемость. Учитывая важную роль коры больших полушарий и гипоталамуса в осуществлении психических функций человека, можно ожидать, что длительное повторное воздействие предельно допустимых ЭМ-излучения (особенно в дециметровом диапазоне волн) может повести к психическим расстройствам.

Измеритель плотности потока энергии электромагнитного поля ПЗ-33М предназначен для измерения ППЭ в режиме непрерывной генерации при проведении контроля уровней электромагнитного поля на соответствие требованиям норм по электромагнитной безопасности.

Измеритель применяется для проведения измерений уровней СВЧ-излучения в жилых и рабочих помещениях при наличии в них электрооборудования силового, хозяйственного, коммутационного и информационного назначения, а также при проведении комплексного санитарно-гигиенического обследования территорий. ПЗ-33М подходит также для работы в полевых условиях.

Результаты многочисленных исследований показывают, что невидимые, неосознаваемые электромагнитные, магнитные и электрические поля оказывают серьезное воздействие на человеческий и другие организмы. Влияние сильных полей изучено достаточно широко. Влияние слабых полей, на которое раньше не обращали внимание, оказалось ничуть не менее важным для живых организмов. Но исследования в этой области только начались.

В данной работе мы рассмотрели реальную угрозу нанесения непоправимого вреда человеческому организму от электромагнитного излучения, нашли основные источники ЭМП и показали влияние ЭМП на отдельные системы и органы человека.

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

МЕРОПРИЯТИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ УСЛОВИЙ ТРУДА НА ЗАО «СПЕЦХИММОНТАЖ»

ЗАО «СПЕЦХИММОНТАЖ» является современным строительно-монтажным предприятием, выполняющим комплекс работ по защите строительных конструкций, трубопроводов и оборудования объектов атомной энергетики с 1971г. А так же является производителем материала для наливного пола СПЕЦПЛАСТ-109М с 1993г. производителем микрошариков путем плазменной обработки материалов с 1997г.

На СХМ к настоящему времени сложилась достаточно стройная система управления охраной труда. СУОТ является составной частью общей системы управления хозяйственной деятельности организации и представляет собой набор взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов (политика, организация, планирование и осуществление, оценка), а также процедуры по достижению этих целей.

Для улучшения условий труда на предприятие реализована система управления профессиональными рисками. Это комплекс взаимосвязанных мероприятий, включающих в себя меры по выявлению, оценке и снижению уровней профессиональных рисков. Состоящая из мероприятий:

- проведение предварительного и периодического медосмотра;
- обучение безопасным методам ведения работ, стажировка на рабочем месте;
- аттестация и сертификация рабочих мест по условиям труда;
- организация безопасного рабочего места;
- организация работ по наряду-допуску;
- обеспечение и правильное применение СИЗ и средств коллективной защиты.

Библиографический список

1. **Годовой** отчет по ОТ за 2011 г.
2. **Годовой** отчет по ОТ за 2012 г.

*Ю.С. Некрасова, Н.В. Черемисова, студ.;
рук. А.К. Соколов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРЕПОДАВАНИЕ УРОКОВ ОБЖ В ШКОЛАХ

Уроки ОБЖ преподаются в школах, к сожалению, недолжным образом. Эта проблема требует большего внимания, чем ей уделяется. Такой предмет, как ОБЖ, не случайно планируется сделать одним из четырёх обязательных для сдачи ЕГЭ. В России проблема безопасности стоит особенно остро, поэтому нельзя пренебрегать занятиями, позволяющими подготовиться и защититься ко многим неприятностям современного мира.

Образовательная область "Основы безопасности жизнедеятельности" создана на основе накопленного в мире опыта по обеспечению безопасности человека в повседневной жизни, а также с учетом нормативно-правовых актов Российской Федерации в области безопасности. Для того, что бы уроки ОБЖ давали результат необходимо сделать его обязательным предметом с первого по одиннадцатый класс. Формирование культуры безопасности – это длительный процесс, требующий системного подхода.

Многие пока еще привыкли думать, что ОБЖ учит поведению в экстремальных ситуациях. На самом же деле защита в экстремальных условиях это лишь малая часть тех знаний и умений, которые должны получить школьники в процессе обучения. Изучение курса ОБЖ направлено: на формирование сознательного и ответственного отношения учащихся к личной безопасности и безопасности окружающих, усвоение ими знаний и умений по распознаванию и оценке опасных ситуации, выбору способов защиты от них, оказанию само- и взаимопомощи.

Главное, чему должны научиться дети – это культуре безопасности жизнедеятельности, то есть не только знать, что делать при пожаре, но и знать, что нужно делать, чтобы его не случилось. К примеру, не включать по пять-шесть электроприборов в розетку, если в доме старая проводка, не рассчитанная на такое напряжение. За счет все увеличивающегося числа благ цивилизации, которыми теперь окружены люди, опасностей становится только больше.

Ситуация с преподаванием уроков ОБЖ в некоторых школах – плачевна, так преподавание ОБЖ занимаются люди не имеющие специальной подготовки.

Учителями ОБЖ часто становятся или преподаватели физкультуры, или те, у кого есть возможность вести дополнительную учебную

нагрузку при нехватке часов по своим предметам. Это в корне неправильно.

ОБЖ – такой же самостоятельный предмет, как химия, физика, русский язык. Только ответственность при его преподавании гораздо выше. Если на уроке ошибется учитель математики, максимум, что может случиться – школьник неправильно ответит на какой-то вопрос на контрольной или олимпиаде. А из-за недоработки учителя ОБЖ ущерб может быть нанесен здоровью и жизни ребенка. Конечно, существуют методические рекомендации и поурочные планы, которые выпускает, в частности, издательство «Просвещение», но нельзя недооценивать и роль педагога, который своим примером должен учить детей вести здоровый образ жизни и не попадать в опасные ситуации.

На уроках ОБЖ необходимо проводить больше практических занятий, которые должны развивать умения и навыки. На них дети должны отрабатывать поведение во время экстремальных ситуаций. Если ребенок приобрел навыки действий, то ему психологически легче будет справиться с возникающими жизненными проблемами.

Но сейчас в редкой школе проводятся общие учения по эвакуации, в то время как в соответствии с законом о гражданской обороне они должны проводиться несколько раз в год, что уж говорить о практических занятиях на ОБЖ. А ведь именно навыки, усвоенные еще в детстве, могут когда-нибудь спасти жизнь. Жертв в ночном клубе в Перми было бы меньше, если бы людей научили в школе: самое опасное при пожаре – угарный газ, который поднимается вверх, оставляя внизу слой чистого воздуха. Практические занятия, во время которых дети должны выбраться из класса на четвереньках, как и следует при пожаре, навсегда им запомнятся и мгновенно подскажут, что делать в опасной ситуации.

Важно понять, что предмет, если преподавать его должным образом, может быть не только полезным, но и очень интересным. Мало того, он нужен и родителям, ведь они никогда не изучали ничего подобного и если знают какие-то общие правила и моменты, то больше из жизненного опыта. Через общее образование на уроках "Основы безопасности жизнедеятельности" наиболее результативно прививаются учащимся мотивы, побуждающие к соблюдению норм и правил безопасного поведения дома, на улице, в школе, на природе, а затем в обществе и на производстве.

Проведен анализ преподавания уроков ОБЖ в школах №1, №18 (г. Кинешма), №6 (г. Приволжск) и других.

СЕКЦИЯ 12

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Председатель – д.т.н., проф. А.И.ТИХОНОВ
Секретарь – к.ф.-м.н., доцент М.А.СОЛУНИН

И.В. Куприн, А. А. Скворцова, студенты; рук. И.В. Неверов, ст. пр.
(ИГЭУ, г. Иваново)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОДЫ ИЗ РОДНИКОВ Г.ИВАНОВО И ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Вода — неотъемлемый компонент человеческого организма. В зависимости от возраста, жировой прослойки и т. п. тело человека состоит на 43%-75% из воды. (Если исключить из организма жир, то человеческое тело состоит из воды на 72%.) Человек, возможно, и сможет прожить от 4 до 8 недель без пищи, однако без воды наш организм погибнет через 10 дней при комнатной температуре. С водой человек получает до 25% суточной потребности химических веществ. Вода оказывает огромное влияние на здоровье человека. Воздействие водного фактора на здоровье населения постоянно подтверждается более чем столетней практикой водоснабжения.

«Нельзя сказать, что вода нужна для жизни, она и есть жизнь», - сказал когда-то великий французский писатель Антуан де Сент-Экзюпери. С этим трудно спорить, как и с тем, что качество нашей жизни зависит от качества воды, которую мы пьем.

В ходе анкетирования студентов, преподавателей и сотрудников ИГЭУ было установлено, что в ежедневном употреблении находится кипяченая водопроводная вода (35 % опрошенных), водопроводная фильтрованная вода (45 % опрошенных), бутилированная вода (7 % опрошенных), родниковая вода (13 % опрошенных).

Родниковые (природные) воды находятся в сложных обратимых взаимоотношениях с живыми организмами, почвой и грунтовыми породами, атмосферой. Человек загрязняет воду с незапамятных времен. Многие тысячелетия люди не задумывались о том, что все нечистоты и

грязь, которые попадают в природные воды, могут попасть в источники для забора питьевой воды. Законы и нормативные документы по очистке промышленных и бытовых стоков воды не решают проблемы чистой воды в природных источниках (родниках). Многие люди, предпочитая родниковую воду другим видам питьевой воды, не задумываются о ее качестве и безопасности.

Проблема недостаточного качества питьевой воды, как и её объективно существующие причины и их последствия для здоровья, высоко актуальны для всех стран в мире. Постоянное употребление воды с повышенной жесткостью приводит к накоплению солей в организме, и, в конечном итоге, к заболеванию суставов (артриты, полиартриты), к образованию камней в почках, желчном и мочевом пузыре. Наиболее сильные связи были выявлены между уровнем жесткости воды и анемиями, болезнями кожи, болезнями органов пищеварения.

Очень мягкая вода не менее опасная, чем излишне жесткая. Самая активная – это мягкая вода. Излишне мягкая вода способна вымывать из костей кальций и полезные органические вещества, в том числе полезные бактерии. У человека может развиваться рахит, если пить такую воду с детства, а у взрослого человека становятся ломкими кости.

"Железная" вода тоже не может быть полезной. Высокое содержание железа приводит к неблагоприятному воздействию на кожу. При умывании жесткой водой на коже образуется пленка нерастворимой кальциевой соли, вызывающая раздражение. Чем меньше содержания железа в воде, тем лучше для качества воды и для организма. Согласно имеющимся в научной литературе сведениям, повышенное содержание железа в питьевой воде приводит к увеличению уровня заболеваемости болезнями печени, инфаркта миокарда, заболеваний кожи, крови, увеличению числа аллергий.

Целью исследования было определение качества проб воды, отобранных из 5 источников г. Иванова и Ивановской области по всем основным параметрам. Ставились следующие задачи:

1. Определить источники, расположенные на территории г. Иванова и Ивановской области и взять пробы воды.
2. Собрать сведения о каждом источнике (расположение, фотографии, исторические данные).
3. Определить характер посещаемости источника (человек/час).
4. Выбрать методики для химического исследования.
5. Исследовать пробы воды из источников по основным показателям качества (прозрачность, цветность, активная реакция воды (рН), общая жесткость, карбонатная жесткость, временная жесткость, остаточная жесткость, некарбонатная жесткость, тип воды).

6. По результатам исследования создать рекомендации по употреблению родниковой воды.

Для работы были выбраны пять родников:

1. В селе Парское Родниковского района, восток Ивановской области.

2. В деревне Каликино Ивановского района, северо-восток Ивановской области.

3. В селе Михайловское Фурмановского района, север Ивановской области.

4. В городе Иваново, ул. 1-ая Полянская, 30 (центр).

5. В городе Иваново, парк отдыха им. Революции 1905 года (север, лесопарковая зона).

Все родники посещались в течение 2011-2013 учебного года трижды: в ноябре, феврале и мае. Во время посещений велось наблюдение за количеством людей, посещающих источник, и проводился опрос людей по специально разработанной анкете.

✓ Когда Вы первый раз посетили этот источник?

✓ Как часто Вы приезжаете сюда?

✓ С какой целью и в каком количестве берете воду?

Общее количество опрошенных 55 человек. Из них 55 % регулярно (раз в одну или две недели) берут воду для приготовления пищи.

Самым посещаемым является родник в деревне Каликино Ивановского района. При опросе людей выяснилось, что многие (92 %) приезжают сюда регулярно много лет подряд (от 5 до 30 лет), но встречаются и такие (8 %), кто приехал впервые попробовать воду. Данный источник не только удобно расположен (примерно 300 метров от трассы Иваново-Кинешма), но и вода из него, как показал химический анализ, лучше воды из других четырех родников.

Пробы воды из всех источников были взяты в стеклянные тары объемом 1 литр 12, 13 и 14 февраля 2013 года.

Таким образом, в результате химического анализа (табл. 1) было установлено, что образцы № 2, 3,5 имеют хорошие показатели качества, особенно образец № 2. У образцов № 1 и 4 показатели качества низкие, но не совсем плохие. Пробы № 1 и 4 перед употреблением необходимо подвергнуть различным видам химической очистки или как минимум кипячению.

Таблица 1 - Показатели качества воды

№	Показатели качества	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
1	pH – активная реакция воды	8	9	8	8	7
2	Прозрачность, см	30	30	30	30	30
3	Цветность, градусы	25	20	15	25	15
4	Общая жесткость, мг · экв/л	9,1	3,6	6,1	7,1	5,0
5	Карбонатная жесткость, мг · экв/л	7,59	4,56	6,58	4,56	4,56
6	Временная жесткость, мг · экв/л	7,08	3,03	4,76	4,05	3,54
7	Остаточная жесткость, мг · экв/л	0,506	1,518	1,820	0,506	1,013
8	Некарбонатная жесткость, мг · экв/л	1,51	-	-	2,54	0,44
9	Тип воды	Жесткая	Средней жесткости	Средней жесткости	Жесткая	Средней жесткости

Выводы:

1. Вода только трех из пяти родников, отобранных для исследования, пригодна для ежедневного применения в качестве питьевой без предварительной очистки.

2. Данное исследование не является всесторонним, что делает его перспективным и долгосрочным. Например, определение в воде тяжелых металлов с помощью физических методов исследования, бактериологический анализ, изучение флоры и фауны вблизи источников, более полные социологические исследования, исследование воды родника в динамике – осень, зима, весна, лето и др.

*И.А. Мошкин, М.В. Пряников, студенты;
рук. И.В. Неверов, ст. пр.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ГЛУБИНЫ РЕАКЦИИ ЭТЕРИФИКАЦИИ ЭПОКСИДОВ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Одна из проблем при производстве конструкций из полимерных композиционных материалов – определение глубины реакции полимеризации. Применяемые в промышленности методики основываются на

весовом методе вымываемой неотвержденной части связующего. При этом анализ одного образца длится достаточно длительное время.

Предлагается спектральный экспресс-анализ определения глубины реакции этерификации для эпоксидных связующих композиционных материалов. Анализ проводится на спектрофотометре SPECORD M80. Использовались неразборные жидкостные кюветы с окнами из NaCl толщиной 0,35 мм (для растворов) и ХЧ бромид калия (для таблеток). В качестве растворителя применяли очищенный пиридин, растворяющий практически все промышленные образцы эпоксидных полимеров и дающий с гидроксильной группой ассоциат, имеющий полосу поглощения в области 3280 см^{-1} . Чувствительность метода 0.1% определяемых групп. Анализ может быть проведён для стекло-, угле- и органических пластиков. Для анализа требуется соскоб с готовой детали массой не более 0,1 г.

Для определения гидроксильных и эпоксидных групп эпоксидного полимера в качестве аналитических полос выбраны полоса поглощения в области $3450\text{—}3250 \text{ см}^{-1}$, характеризующая валентные колебания гидроксильной группы, и полоса поглощения в области $920\text{—}910 \text{ см}^{-1}$, характеризующая валентные колебания эпоксидного кольца. Интенсивность поглощения выбранных полос прямо пропорциональна содержанию определяемых групп. Аналитическая полоса поглощения гидроксильной группы смещается в зависимости от способа приготовления образца (раствор или таблетка). Поэтому для построения градуировочных кривых были выбраны аналитические полосы поглощения гидроксильной группы в области 3250 см^{-1} (для раствора) и 3440 см^{-1} (для таблетки).

На ИК-спектрах исходной эпоксидной смолы идентифицированы две полосы деформационных колебаний эпоксидного кольца в диапазонах $917\text{—}907 \text{ см}^{-1}$ и $864\text{—}830 \text{ см}^{-1}$, имеющие среднюю или высокую интенсивность, а также полоса средней или малой интенсивности в области 1260 см^{-1} , характерная для валентных колебаний эпоксидного кольца (рис. 1). Вместе с тем, на ИК-спектрах полученных продуктов исчезает полоса поглощения, характерная для эпоксидной группы в области $917\text{—}907 \text{ см}^{-1}$ и $864\text{—}830 \text{ см}^{-1}$ и появляется новая широкая полоса поглощения в области $3100\text{—}3300 \text{ см}^{-1}$, соответствующая ОН-группе (рис. 2) вследствие раскрытия эпоксидного кольца и образования гидроксильной группы.

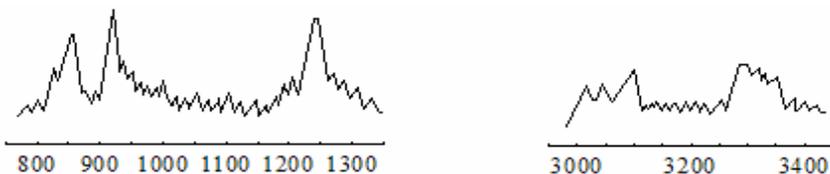


Рис. 1. ИК-спектр исходной эпоксидной смолы ЭД-20

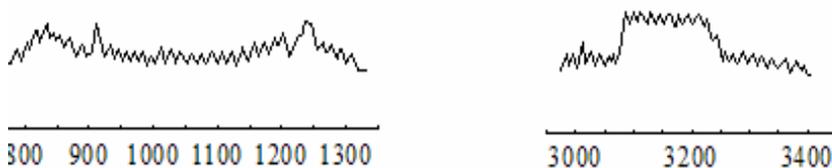


Рис. 2. ИК-спектр отвержденной смолы ЭД-20

Отнесения полос проведены в соответствии с данными [Dana W.Mayo, Foil A. Miller, Robert W. Hannah. *Course Notes on the Interpretation of Infrared and Raman Spectra* // A JOHN WILEY & SONS PUBLICATION, 2003]:- полосы в области 914, 785 и 754 cm^{-1} принадлежат поглощению эпоксигрупп смолы; - полосы в области 820 и 720 cm^{-1} – поглощению аминогрупп отвердителя. Таким образом, изменение интенсивности этих полос в зависимости от концентрации модификатора, отражает его влияние на полимеризации эпоксидной смолы. Кривые для всех полос ведут себя одинаковым образом, поэтому на рис. 1 и 2 приведены только некоторые из них.

Библиографический список

1. П. М. Пахомов. Спектроскопия полимеров, Тверь 1997
2. А.Д. Еселев. Состояние и перспективы развития производства эпоксидных смол и отвердителей для клеев в России / А.Д. Еселев, В.А. Бобылев // Клеи. Герметики. Технологии. – 2006. – № 7. – С. 2-8

*А.А. Орлов, студ.; рук. А.Н. Алентьев, к.ф.-м.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

НЕЙТРИННАЯ ЛАБОРАТОРИЯ КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТА АЭС

Диагностика процессов, протекающих в активной зоне ядерного реактора атомной электростанций, чрезвычайно важна для своевременной коррекции режима работы ядерного реактора. Проект предлагает наряду с традиционными методами контроля нейтронного потока применить альтернативный метод, заключающийся в детектировании потока антинейтрино. Ожидается, что каждый детектор установки позволяет надежно фиксировать порядка 10 событий/мин.

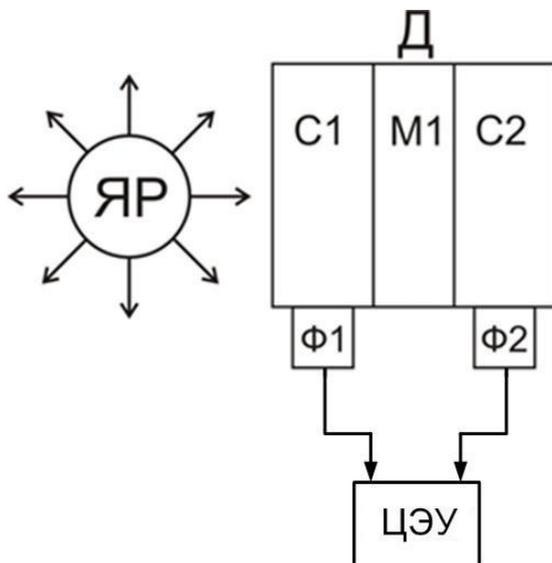
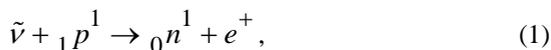


Рис.1. Функциональная схема блока детектирования антинейтрино

Блок детектирования состоит из трёх ёмкостей. Первая и третья (С1, С2) с размерами $(2 \times 2 \times 0,6) \text{ м}^3$ заполнены жидким сцинтиллятором. Третья ёмкость (М1) с размерами $(2 \times 2 \times 0,15) \text{ м}^3$ заполнена водным раствором соли кадмия. В этой ёмкости происходит взаимодействие антинейтрино с протоном мишени:

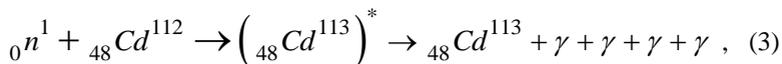


где ${}_0n^1$ – нейтрон, e^+ – позитрон.

Позитрон через время $t \sim 10^{-11}$ с аннигилирует с электроном среды по схеме:



Гамма-кванты, энергия каждого из которых равна 0,511 МэВ, вызывают посредством Комpton-эффекта первый импульс люминесцентного свечения сцинтиллятора. Свет люминесценции регистрируется системой фотоэлектронных умножителей, которая включает в себя 10-15 ФЭУ. На рисунке представлено 2 ФЭУ. Импульсы напряжения Ф1, Ф2 подаются на цифровое электронное устройство (ЦЭУ). По истечению среднего времени диффузии происходит захват ${}_0n^1$ ядром кадмия ${}_{48}\text{Cd}^{112}$ по схеме:



где $({}_{48}\text{Cd}^{113})^*$ – ядро кадмия в возбуждённом состоянии.

Гамма-кванты (3) с суммарной энергией $E = 9,1$ МэВ вызывают второй импульс света люминесценции, и соответственно возникнут импульсы напряжения на выходе Ф1, Ф2, которые подаются на цифровое электронное обрабатывающее устройство.[1,2]

В проекте предлагается использовать 5 независимых детекторов с последующим выводом сигналов на цифровое электронное обрабатывающее устройство.

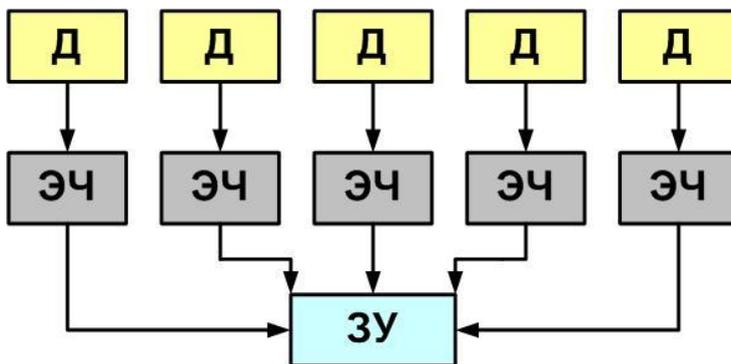


Рис.2. Схема детекторов

Детекторы располагаются снаружи герметичной оболочки ядерного реактора на высоте центра активной зоны, что позволит сократить расстояние до источника антинейтрино и соответственно заметно увеличить поток частиц, пронизывающий детектор. Следует заметить, что расположение детектора снаружи корпуса реактора позволит уменьшить влияние ионизирующего излучения активной зоны на конструкцию детекторов.

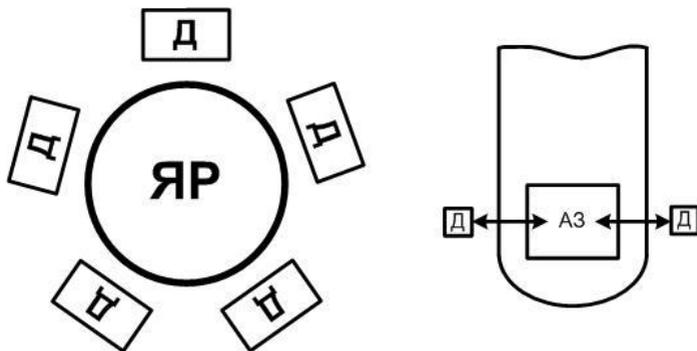


Рис.3. Расположение детекторов

Информация от детекторов передается системой ВЧ-кабелей на цифровое электронное устройство (ЦЭУ), которое предлагается расположить вблизи блочного щита управления энергоблоком. Это позволит использовать технологические каналы средств управления и защиты ядерного реактора в качестве каналов для прокладки ВЧ-кабелей от детекторной части к вычислительной. Предлагаемый вариант нейтринной лаборатории позволяет существенно снизить стоимость внедрения данного проекта в состав действующей АЭС. Следует отметить, что используемые в детекторах материалы имеют относительно невысокую стоимость, что также положительно сказывается на привлекательности проекта.

Важной инновационной составляющей проекта является то, что предлагается использовать нейтринные детекторы в качестве промышленного способа контроля процессов, происходящих в активной зоне ядерного реактора. Современные методы контроля процессов, протекающих в ядерном реакторе, дополненные предлагаемым методом позволят повысить безопасность эксплуатации ядерных энергоблоков.

Библиографический список.

1. Мухин, К.Н. Экспериментальная ядерная физика, том I – М.: Атомиздат, 1974.
2. Материалы конференции «Энергия-2012», том II – Иваново: ИГЭУ, 2012, с. 188-190, Орлов А.А., Алентьев А.Н.

*М.С. Щербаков, студ.; рук. И.А. Крылов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ
«ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА
МЕТОДОМ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО
ГАЛЬВАНОМЕТРА»**

В модернизируемой лабораторной работе производилась градуировка воздушного конденсатора переменной емкости, то есть измерение его емкости в зависимости от угла поворота подвижных пластин методом баллистического гальванометра. Измерения емкостей отдельных конденсаторов постоянной емкости и емкостей батарей из них при их параллельном, последовательном и смешанном соединениях производились при помощи моста переменного тока Кольрауша, хотя в настоящее время переменный ток в курсе общей физики в технических ВУЗах не изучается. В связи с этим было решено модернизировать вышеназванную лабораторную работу таким образом, чтобы в ней можно было производить не только градуировку конденсатора переменной емкости, но и измерения емкостей отдельных конденсаторов и батарей из них.

Кроме этого решалась еще одна методическая задача. Опыт проведения работы по градуировке конденсатора переменной емкости методом баллистического гальванометра показывает, что при использовании формулы для расчета емкости в этом методе у многих студентов возникает неверное представление о том, что емкость конденсатора C зависит от напряжения U на нем, так как оно входит в эту формулу

$$C = \frac{nB}{U},$$

где B – баллистическая постоянная гальванометра,
 n – число делений, показывающих величину отклонения световой стрелки гальванометра,
 U – напряжение на конденсаторе.

Задуманная модернизация проводилась на основе существующей лабораторной работы «Измерение емкости конденсатора методом баллистического гальванометра», компактно смонтированной на пластмассовой панели, к которой на время выполнения измерений подключались вольтметр и баллистический гальванометр. Поэтому модернизация решалась относительно просто путем установки на существующей панели дополнительных тумблера K_5 и двух клемм для подключения измеряемых конденсаторов постоянной емкости C_x и батарей из них (рис. 1).

Сами конденсаторы постоянной емкости в количестве трех штук и имеющие разные емкости, были смонтированы на отдельной пластмассовой панели. При этом каждый конденсатор присоединен к двум своим клеммам, что позволяет измерять емкость каждого из них в отдельности, и, кроме того, измерять емкости собранных из них батарей при их параллельном, последовательном и смешанном соединениях.

Для проверки независимости емкости исследуемых конденсаторов или батарей из них от напряжения U снимается зависимость заряда конденсатора или батареи от напряжения U на них, устанавливаемое потенциометром R .

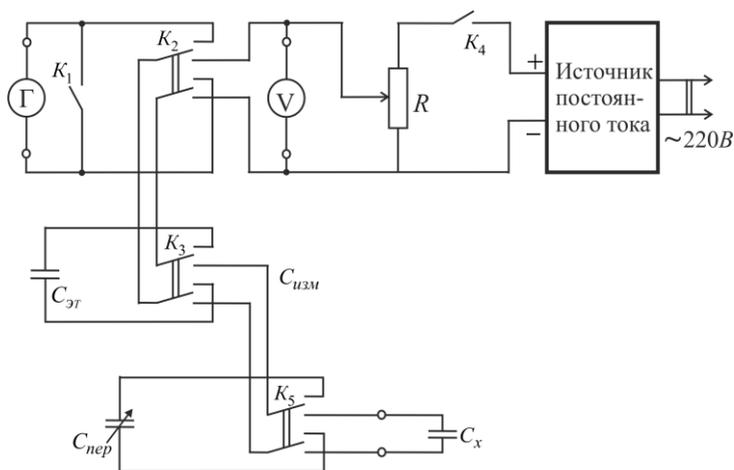


Рис. 1. Принципиальная схема модернизированной лабораторной установки

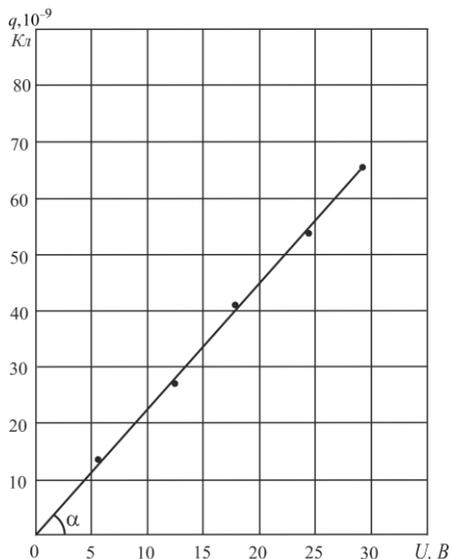


Рис.2. Зависимость заряда q на конденсаторе C_{x1} от напряжения U на нем

График зависимости q от U представляет собой прямую линию, тангенс угла наклона которой $tg\alpha$ равен емкости C_x конденсатора. Эта прямая демонстрирует независимость емкости конденсатора от напряжения на нем (рис. 2).

Кроме того, измерение емкости C_x с помощью графика зависимости q от U повышает надежность измерения, так как при построении графика учитывается вся совокупность экспериментальных точек.

Измеренные таким способом значения емкостей C_x конденсаторов и батарей из них расходятся с их значениями, полученными с помощью высокоточного моста переменного тока Е7-8 не более, чем на 1,5 %. Хорошие совпадения получаются и между экспериментальными и расчетными значениями емкостей всех трех типов батарей, собранных из отдельных конденсаторов.

Библиографический список

1. **Иверонова В.И.** Физический практикум (электричество и оптика). М.: Наука, 1968. с.8

*А.А. Медведев, А.О. Большаков, студенты;
рук. Н.В. Абрамова, зав. лаб., М.В. Дмитриев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ МАНОМЕТРА ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ (ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА МЕТОДОМ КЛЕМАНА-ДЕЗОРМА)

Адиабатический процесс в газе происходит при полной термодинамической изоляции его от внешней среды и протекает за счет изменения внутренней энергии системы. В координатах (P, V – давление, объем) этот процесс имеет вид

$$P \cdot V^\gamma = const$$

и называется уравнением Пуассона[1]. Здесь γ – показатель адиабаты (коэффициент Пуассона), равный отношению молярной теплоемкости идеального газа в изобарическом процессе (C_P) к молярной его теплоемкости в изохорическом процессе (C_V):

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}.$$

Зная величину показателя адиабаты γ , можно вычислить скорость звука в газе, или воспользовавшись соотношением Майера определить молярные теплоемкости газа в процессах при постоянном объеме и при постоянном давлении:

$$C_V = \frac{R}{\gamma - 1}; C_P = \frac{\gamma \cdot R}{\gamma - 1}$$

Здесь R – газовая постоянная. Знание величины коэффициента Пуассона имеет практическое значение, поэтому в физике было разработано несколько экспериментальных способов для его измерения и одним из простейших является метод Клемана-Дезорма (1819 г.).

Экспериментальная установка состоит из сосуда объемом 20-30 литров, чаще всего стеклянного, жидкостного манометра, подключенного к сосуду, насоса для накачивания газа в сосуд и клапана для быстрого выпуска газа из сосуда. В сосуде атмосферное давление.

Насосом накачивают в него газ и повышают давление на 25-30 см высоты столба жидкости в манометре. Когда газ в сосуде охладится и примет температуру окружающей среды (через 3-4 минуты), манометр будет показывать избыток давления h_1 (рис. 1). Открывают клапан и быстро (адиабатический процесс) выпускают газ наружу, чтобы давление в сосуде стало равно атмосферному. Клапан закрывают, и газ через стенки сосуда изохорически нагревается до температуры окружающей среды. Процесс длится 3-4 минуты и давление в сосуде возрастает до величины h_2 . Коэффициент Пуассона рассчитывается по формуле

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}. \quad (1)$$

При этом предполагается, что манометр адекватно реагирует на изменение давления в сосуде.

В действительности реакция манометра не мгновенна и его показания не всегда строго следуют за изменением давления в сосуде; столб жидкости, наполняющей манометр, обладает заметной инерцией. При неправильном выборе сечения трубки манометра и массы жидкости, его заполняющей получается прибор с замедленной реакцией. Когда газ через клапан адиабатически выходит из сосуда, жидкость в манометре начинает перемещаться и набирает некоторую скорость. Давление в сосуде сравнивается с атмосферным, а жидкость продолжает движение по инерции и проскакивает положение равновесия. Теперь она поднимается выше в другом колене манометра. Затем начинается обратное ее движение, то есть процесс перемещения жидкости в манометре носит колебательный характер с затуханием. На реальной экспериментальной установке в лаборатории молекулярной физики ИГЭУ реакция манометра на изменение давления в сосуде в два с половиной раза превышала время адиабатического сброса давления. На рис.1 в координатах PV кривой 1-2 изображается адиабатное расширение газа из сосуда и отрезком прямой 2-3 изохорное нагревание, кривая 1-3 - изотерма. Коэффициент Пуассона рассчитывается по формуле (1). Реальный процесс изображен на рис.2, где за адиабатным процессом 1-2 следует изобарное расширение газа 2-3 и лишь затем изохорное нагревание 3-4.

Пользоваться формулой (1) для расчета коэффициента Пуассона нельзя, так как при изобарном расширении из сосуда вытекает дополнительно еще некоторое количество газа.

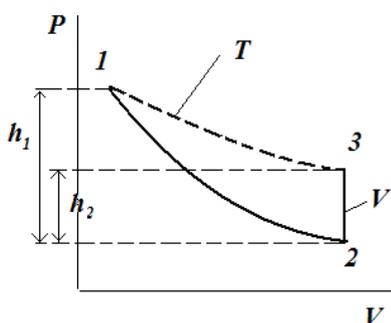


Рис. 1. Теоретический процесс в установке

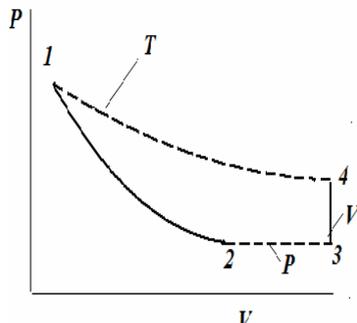


Рис. 2. Действительный процесс в установке

Колебательный процесс с затуханием может быть описан однородным дифференциальным уравнением

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0,$$

где x – смещение уровня жидкости в манометре относительно положения равновесия, t – время, β – коэффициент затухания, ω_0 – циклическая частота[2]. Если $\beta \geq \omega_0$, то решение уравнения будет функцией неперриодической, и движение жидкости будет носить аперриодический характер. Минимальное время перехода колебательной системы к равновесию достигается при $\beta = \omega_0$.

Коэффициент затухания β определяется как отношение коэффициента трения α жидкости о стенки трубки к массе жидкости:

$$2\beta = \frac{\alpha}{lS\rho},$$

где l – длина всего столба жидкости в манометре, S – внутреннее поперечное сечение трубки, ρ – плотность жидкости. Видно, что коэффициент затухания можно увеличить путем уменьшения массы жидкости ($m = lS\rho$), что достигается уменьшением диаметра трубки и плотности жидкости. Но вместе с тем с уменьшением диаметра трубки уменьшается площадь ее внутренней поверхности, а следовательно, и коэффициент трения жидкости α , что сопровождается уменьшением коэффициента затухания β . Два конкурирующих процесса, зависящих от диаметра трубки. Тем не менее, влияние уменьшения массы жидкости сказывается на величине коэффициента затухания сильнее, чем уменьшение коэффициента трения и в результате с уменьшением диа-

метра трубки коэффициент затухания возрастает. Действительно, масса жидкости пропорциональна площади поперечного сечения трубки, то есть, пропорциональна квадрату диаметра, в то время как площадь внутренней поверхности трубки пропорциональна диаметру.

Таким образом, задача уменьшения времени реакции манометра на изменение давления в сосуде решается путем уменьшения диаметра трубки манометра и применением жидкости с малой плотностью. В существующем манометре внутренний диаметр трубки равен 6 мм, в новом манометре была выбрана трубка с внутренним диаметром 4 мм. Тем самым масса столба жидкости при неизменной его длине была уменьшена более чем в два раза. Вместо воды, используемой в существующем манометре, в новый манометр был залит этиловый спирт, плотность которого составляет 0,79 от плотности воды. В результате массу жидкости удалось уменьшить в 2,8 раза, при уменьшении коэффициента трения в 1,5 раза, что позволило увеличить коэффициент затухания 1,8 раза. Испытания показали, что в новом манометре движение жидкости происходит аperiодически и при начальной разности ее уровней в коленях 25 см процесс смещения заканчивается в течение двух секунд. Столько же длится адиабатический сброс давления в сосуде. Движение жидкости в манометре прекращалось к моменту, когда давление в сосуде сравнилось с атмосферным давлением.

Важным моментом замены воды на этиловый спирт явилось увеличение точности отсчета показаний манометра. В существующем манометре мениск воды в трубке был в пределах трех миллиметров, поэтому и шкала была проградуирована с шагом 0,5 см. При расчете погрешности при определении коэффициента Пуассона точность измерения высоты столба жидкости приходится брать равной 0,5 см, то есть шагу шкалы. В новом манометре мениск этилового спирта составлял менее одного миллиметра, что позволило применить шкалу с шагом, равным одному миллиметру и тем самым повысить точность измерения высоты столба жидкости в пять раз. В результате точность определения коэффициента Пуассона существенно возросла, а погрешность стала заметно меньше 10%, так что получаемые значения коэффициента могут быть отнесены к количественным результатам, а не к качественным, как это было при использовании старого манометра.

Библиографический список

1. Майсон Н.Н. Практикум по курсу общей физики. М.: Росвузиздат, 1963, 443 с.
2. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Курс физики, т.1., М.: Высшая школа, 1973, 384 с.

*А.В. Подобный, студ.; рук. М.А. Солунин, к.ф.-м.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ДВИГАТЕЛЬ СТИРЛИНГА: ПРИНЦИП РАБОТЫ И ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

Тип двигателя, работающего на низких температурах, придумал шотландский ученый Роберт Стирлинг в 1790 году. Актуальность технической разработки заключалась в том, что используемые в то время паровые машины, работающие при высоких температурах и давлении, были опасными в эксплуатации [1].

В основу названия нового двигателя, как и цикла, по которому он работал, легло имя изобретателя. Идея двигателя Стирлинга состояла в следующем. Внешний источник энергии через стенку цилиндра передает тепло в двигатель. Основная часть энергии тратится на преобразование рабочим телом тепловой энергии в механическую. Оставшаяся энергия отводится от другой стенки двигателя, создавая при этом разницу температур, необходимую для работы машины.

Новаторство состояло в том, что Стирлинг не только отказался от пара, но и ввел в цикл работы двигателя регенерацию тепла. В отличие от двигателя внутреннего сгорания в классическом двигателе Стирлинга нет необходимости в клапанах, так как рабочее тело - газ - постоянно находится внутри двигателя. Это, с одной стороны, упрощает конструкцию двигателя, а с другой - делает более трудным расчет его параметров.

Совокупность переходных процессов, происходящих при работе данного двигателя, называется циклом Стирлинга (рис. 1). Этот цикл представляет собой последовательное нагревание и охлаждение газа (рабочее тело) в замкнутом объеме. Рабочее тело нагревается в горячей части двигателя, расширяется и производит полезную работу, после чего перегоняется в холодную часть двигателя, где охлаждается, сжимается и снова подается в горячую часть двигателя.

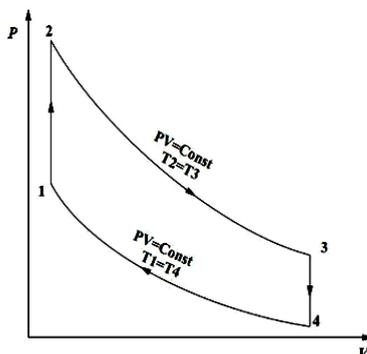


Рис. 1. Цикл Стирлинга

Далее цикл повторяется.

Необходимо отметить, что количество рабочего тела всегда остается неизменным, меняется лишь его температура, давление и объем. Весь цикл условно можно разделить на четыре такта. Условность заключается в том, что четкое разделение на такты в цикле отсутствует, так как процессы переходят один в другой. Это обусловлено отсутствием в конструкции двигателей Стирлинга клапанного механизма (стирлинг-двигатели с клапаным механизмом называются двигателями Эриксона). Данный факт, с одной стороны, резко упрощает конструкцию, а с другой, вносит сложность в теорию расчета.

Нами был построен один из вариантов двигателя стирлинга – гамма стирлинг (рис. 2).

Рассмотрим принцип работы на примере демонстрационной модели. Двигатель состоит из двух цилиндров. Большой цилиндр – теплообменный. Он поочередно разогревает и охлаждает рабочее тело. Поэтому один торец цилиндра (нижний) нагревают, другой торец (верхний) – охлаждают. Основной поршень выполнен из теплоизоляционного материала. Являясь тепловым клапаном, перегоняющим рабочее тело то к холодному, то к горячему торцу, он свободно перемещается в теплообменном цилиндре. Малый цилиндр является рабочим.

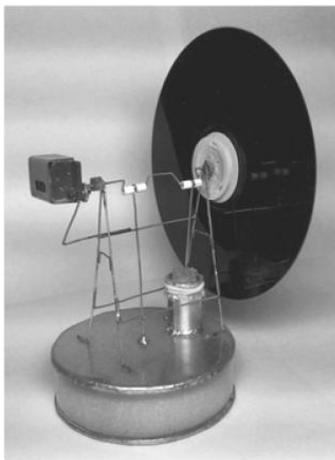


Рис. 2. Действующая модель двигателя Стирлинга

Цикл Стирлинга состоит из четырех тактов [2]. Первый такт – сжатие при постоянной температуре рабочего тела (рис. 3а).

Поршень теплообменного цилиндра находится вблизи нижней мертвой точки (НМТ) и остается условно неподвижным, так как он имеет малую высоту перемещения поршня при прохождении коленвалом расстояния вблизи верхней или нижней мертвой точки. Газ сжимается рабочим поршнем малого цилиндра. Давление газа возрастает, а температура остается постоянной, так как теплота сжатия отводится через холодный торец теплообменного цилиндра в окружающую среду.

Второй такт – такт нагревания при постоянном объеме (рис. 3б). Рабочий поршень рабочего цилиндра находится вблизи НМТ и полностью перемещает холодный сжатый газ в теплообменный цилиндр,

поршень которого движется к верхней мертвой точки (ВМТ) и вытесняет газ в горячую полость. Так как при этом суммарный внутренний объем цилиндров двигателя остается постоянным, рабочее тело разогревается, давление повышается и достигает максимального значения.

Третий такт – такт расширения при постоянной температуре газа (рис. 3в). Поршень теплообменного цилиндра находится вблизи верхней мертвой точки (ВМТ) и остается условно неподвижным. Поршень рабочего цилиндра под действием давления газа движется к верхней мертвой точке. Происходит расширение горячего газа в полости рабочего цилиндра. Полезная работа, совершаемая поршнем рабочего цилиндра, через кривошипно-шатунный механизм передается на вал двигателя. Давление в цилиндрах падает, а температура газа в горячей полости остается постоянной, так как к нему подводится тепло от источника тепла через горячую стенку цилиндра.

Четвертый такт – такт охлаждения при неизменном объеме (рис. 3г). Поршень рабочего цилиндра находится вблизи ВМТ и остается условно неподвижным. Поршень теплообменного цилиндра движется к НМТ и перемещает газ, оставшийся в горячей части в холодную часть цилиндра. Так как при этом суммарный внутренний объем цилиндров двигателя остается постоянным, давление газа в них продолжает падать и достигает минимального значения. В моделях, содержащих рабочее тело, при атмосферном давлении четвертый такт также является рабочим, поскольку давление падает резко и возникает кратковременное разрежение. В результате рабочий поршень с усилием втягивается в цилиндр, совершая дополнительную работу. Следует отметить, что из четырех тактов рабочими является два.

Двигатель Стирлинга имеет ряд недостатков [3]. Один из них – большой, по сравнению с ДВС, размер. Это связано с тем, что сгорание топлива происходит вне двигателя, а отвод тепла осуществляется через стенки радиатора.

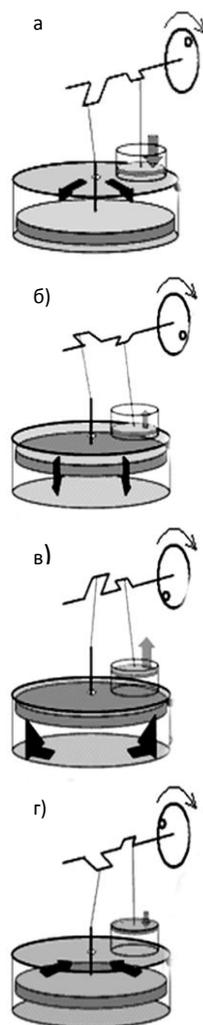


Рис. 3. Схема работы двигателя

Для производства компактных и мощных Стирлинг-машин требуются жаропрочные стали, выдерживающие высокое рабочее давление и в то же время, обладающие низкой теплопроводностью. Специфическая конструкция требует смазочные материалы с низким коэффициентом трения.

Для получения высокой удельной мощности в качестве рабочего тела в Стирлингах используют водород или гелий. Но водород взрывоопасен. К тому же, при высоких температурах, взаимодействуя с металлом, он образует металлгидриды – то есть происходит разрушение двигателя. Водород, как и гелий, обладает высокой проникающей способностью и просачивается через уплотнения подвижных частей двигателя, снижая рабочее давление.

Двигатель Стирлинга обладает и рядом неоспоримых преимуществ. Сегодня его КПД может достигать 65-70% от цикла Карно. Крутящий момент практически не зависит от скорости вращения коленвала, что позволяет ему, в отличие от двигателя внутреннего сгорания, оставаться в рабочем положении даже при малых оборотах двигателя. Двигатель Стирлинга прост в эксплуатации: в нем отсутствует система высоковольтного зажигания, карбюратор, клапанная система и распределитель. Он не требует регулировки и настройки в процессе всего срока эксплуатации. В двигателе Стирлинга, в отличие от двигателя внутреннего сгорания, нагрузки сбалансированы, что существенно увеличивает время его эксплуатации. Использование абсолютно любого источника тепловой энергии делает двигатель Стирлинга универсальным. Это связано с тем, что энергия передается через его наружные стенки (нагревание происходит снаружи, а не внутри двигателя), обеспечивая полное сгорание топлива, что, в отличие от ДВС, делает его экологически чистым.

В настоящее время данный тип двигателя благодаря обратимости процессов, происходящих в нем, используется в криогенных установках без фреона. Бесшумность работы Стирлинга делает актуальным его применение на подводных лодках. Возможность использования любого источника энергии в сочетании с низкой рабочей температурой привело к поиску способов применения двигателя в качестве увеличения безотходности на ТЭЦ. Высокий уровень КПД и нетребовательность к уходу при эксплуатации делает возможным применение Стирлинга на космических кораблях в качестве устройства, перерабатывающего солнечную энергию в электрическую.

Преимущества двигателя Стирлинга делают актуальной работу по его дальнейшему совершенствованию и внедрению данного устройства в различные сферы технической деятельности человека.

Библиографический список

1. Уокер Г. Двигатели Стирлинга / Сокр. пер. с англ. Б. В. Сутугина и Н. В. Сутугина. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с., ил.
2. <http://www.stirlingmotors.ru/Prinzip%20d-ja.htm>
3. <http://www.stirlingmotors.ru/History.htm>

*К.А. Митрофанова, студ.; рук. Н.П. Пророкова, д.т.н., проф.,
Кузьмин С.М., к.х.н., доц.
(ИГТА, г. Иваново)*

ТЕКСТИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С БИОЦИДНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Санитарно-гигиенические условия жизни и работы большого количества людей в условиях, не обеспечивающих надлежащий уровень гигиены (транспорт, вахтовая работа, экспедиции, полевые условия военнослужащих, спасательные работы) или связанных с повышенными требованиями к микробиологической безопасности (лечебные учреждения, фармацевтические и пищевые производства) могут быть значительно улучшены путем использования биоцидно защищенных текстильных материалов.

Биоцидная обработка текстильных материалов, разработанная более полувека назад и широко применяемая в настоящее время во многих странах Европы, Америки, Юго-Восточной Азии, к сожалению, пока практически неизвестна в России.

Одно из главных направлений биоцидной защиты человека с помощью специально обработанных текстильных материалов - профилактика кожных заболеваний, особенно в профессиональной сфере. По данным экспертов комитета Всемирной организации здравоохранения, гнойничковые заболевания кожи составляют треть всей кожной патологии и занимают 3-4 место в общей структуре заболеваемости после гриппа, респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний.

В данной ситуации в России, как и во всем мире, важное значение приобретает профилактика гнойничковых заболеваний кожи, особенно в воинских и профессиональных коллективах. Именно здесь существуют факторы, способствующие возникновению пиодермий (загрязнение кожи горюче-смазочными материалами, микротравматизм, длительное ношение профессиональной одежды и обуви; повышенное потоотделение, обусловленное физическими нагрузками, учения, спасательные операции, занятия профессиональным спортом и др.), в

условиях, при которых сложно, а порой невозможно соблюдать должную личную гигиену. Хорошо известно, что легче предотвратить заболевание, чем его лечить. Именно на эффективную профилактику направлены усилия специалистов, занимающихся биоцидной отделкой текстильных материалов.

Бактерии, грибки и дрожжи живут и размножаются везде, где для этого есть соответствующие условия: влага, питательная среда (углеводы) и подходящая температура. Такие материалы, как текстиль - само волокно либо текстильно-вспомогательные вещества (ТВВ) на обработанной ткани, - являются благодатной питательной средой для множества микроорганизмов. Проявления их чрезмерного роста на текстильных изделиях разнообразны и крайне нежелательны: наряду с образованием запаха, с появлением плесневых пятен и изменением окраски они могут привести к потере функциональных свойств материала, например, его эластичности или разрывной прочности.

Биоцидные отделки подразделяются на следующие виды:

1) антимикробная (препятствующая размножению и росту колоний патогенных бактерий);

2) противогрибковая (сдерживающая рост плесневых и других микрогрибков);

3) антигнилостная (защищающая текстильный материал при контакте с землей и водой);

4) противоаллергенная (от пылевого клеща)

5) репеллентная (отталкивающая кровососущих насекомых).

Биоцидная отделка придает изделиям высокие гигиенические свойства, создает ощущение свежести и комфорта. Она препятствует размножению и росту бактерий и микрогрибов, а также пылевого клеща, вызывающего аллергическую реакцию у человека. Кроме того, в связи с тем, что антимикробная обработка предохраняет волокно от разрушения микроорганизмами, ее использование на 10-15% увеличивает срок эксплуатации текстильных изделий, что позволяет получить дополнительный экономический эффект. Антимикробная обработка может быть осуществлена как при выработке тканей, так и при стирке готовых изделий, и не требует использования дополнительного оборудования и энергетических затрат. Для обработки изделий требуется нанесение от 0,5% до 2,5% препарата от веса изделия, что вызывает незначительное (в зависимости от вида защиты и субстрата на 5-7%) их удорожание, которое полностью компенсируется получаемым экономическим эффектом.

*В.А. Истраткин, студ.; рук. Н.П. Пророкова, д.т.н., проф.,
Кузьмин С.М., к.х.н, доц.
(ИГТА, г. Иваново)*

МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИПРОПИЛЕНОВОГО НЕТКАНОГО ПОЛОТНА МЕТОДОМ ПРЯМОГО ГАЗОВОГО ФТОРИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРИДАНИЯ ЕМУ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ

Полипропиленовые нетканые материалы широко применяются в строительстве зданий и дорог, в сельском хозяйстве, медицине, швейной и мебельной промышленности, в качестве фильтровальных материалов и т.д. Особенно важным и социально значимым является использование полипропиленовых нетканых материалов для изготовления одноразовой хирургической одежды и белья, обеспечивающих инфекционную безопасность медицинского персонала и стационарных больных. Медицинскому персоналу приходится работать с инфекциями, вызываемыми различными группами микроорганизмов (грамотрицательными, грамположительными бактериями, микроскопическими грибами) и передающимися различными путями (воздушно-капельным, контактно-бытовым и др.). Барьером для распространения этих инфекций может стать одноразовая медицинская одежда. Для больных, особенно послеоперационных, чрезвычайно опасной является внутрибольничная инфекция. Согласно статистике, госпитальные инфекции сегодня осложняют до 30% хирургических вмешательств, являясь непосредственной причиной смерти в стационаре каждого двенадцатого пациента. Проблема обеспечения санитарно-гигиенической и инфекционной безопасности медперсонала и больных в настоящее время решается, в основном, путем применения импортной одноразовой одежды и белья, изготавливаемых из полипропиленового нетканого материала и подвергаемых стерилизации на заключительной стадии изготовления. С 2006 г. начато и активно развивается производство аналогичной отечественной продукции. Однако еще более существенный эффект могло бы дать применение одноразовой медицинской одежды и белья не просто стерильных, но обладающих барьерными антимикробными свойствами (т.е. убивающих попадающие на них микроорганизмы), гидрофобных (с которых скатываются капли крови, не задерживаются загрязнения, в первую очередь, биологические).

В связи с этим в настоящей работе оценивалась возможность придания полипропиленовому нетканому материалу (спанбонду) специальных потребительских свойств: биоцидности и гидрофобности с помощью прямого газового фторирования.

В работе проводилось исследование влияния прямого газового фторирования полипропиленового нетканого материала при различных параметрах осуществления процесса на его микробиологическую активность, гидрофобные свойства и основные разрывные полуцикловые характеристики.

Выявлены условия фторирования (продолжительность процесса, состав фторирующей смеси), при которых нетканое полотно приобретает бактериостатичность или одновременно грибостойкость и гидрофобность. Проанализировано влияние условий модифицирования на разрывную нагрузку полотна по длине и по ширине, на его разрывное удлинение и модуль упругости.

По результатам работы подано две заявки на выдачу патентов, по которым получены положительные решения.

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

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ЛАПЛАСА НА КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ СЕТКЕ

Многие задачи математической физики сводятся к решению уравнения Пуассона

$$\nabla^2 \varphi(x, y, z) = f(x, y, z), \quad (1)$$

где φ – некая скалярная функция координат; $f(x, y, z)$ – некая вещественная или комплексная функция;

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k} \quad (2)$$

– векторный дифференциальный оператор Гамильтона.

Решение задачи расчета поля рассмотрим на примере магнитного поля, для которого уравнение (1) имеет вид

$$\vec{\nabla} \times \left(\frac{1}{\mu} \vec{\nabla} \times \vec{A} \right) = \vec{j} \quad , \quad (3)$$

где μ – магнитная проницаемость среды; \vec{A} – векторный магнитный потенциал; \vec{j} – вектора плотности тока, создаваемого сторонними источниками.

Уравнение Пуассона получается из уравнения Максвелла для стационарного магнитного поля

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j}, \quad (4)$$

где \vec{B} и \vec{H} – индукция и напряженность магнитного поля.

Для этого вводится расчетная величина \vec{A} , называемая векторным магнитным потенциалом, которая определяется из двух условий:

$$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}, \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{A} = 0. \quad (5)$$

Подставляя в (4) величину

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{B} = \frac{1}{\mu} \vec{\nabla} \times \vec{A}, \quad (6)$$

получаем уравнение (3).

В интегральной форме уравнение (4) имеет вид:

$$\oiint_L \vec{H} d\vec{L} = \int_S \vec{j} d\vec{S} \quad (7)$$

– циркуляция напряженности магнитного поля \vec{H} по замкнутому контуру L равна потоку вектора плотности тока \vec{j} через поверхность S .

При отсутствии источников тока уравнение (7) принимает вид

$$\oiint_L \vec{H} d\vec{L} = 0, \quad (8)$$

что соответствует уравнению Лапласа

$$\vec{\nabla} \times \left(\frac{1}{\mu} \vec{\nabla} \times \vec{A} \right) = 0. \quad (9)$$

В двухмерной постановке задачи расчета физических полей уравнение (9) имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A_z}{\partial y} \right) = 0, \quad (10)$$

где A_z – проекция векторного магнитного потенциала на ось z , перпендикулярную плоскости расчетной области.

В методе конечных элементов расчетная область разбивают на треугольные элементы таким образом, чтобы границы раздела сред совпадали со сторонами треугольников. При этом для каждого i -го узла конечно-элементной сетки уравнение (8) можно записать в виде

$$\sum_{k=1}^{N_{di}} \vec{H} d\vec{L} = 0, \quad (11)$$

где N_{di} – количество треугольных элементов вокруг i -го узла.

Если в качестве контура интегрирования L выбрать окружность произвольным радиусом r (рис. 1), то уравнение (11) принимает вид

$$\sum_{k=1}^{N_{di}} \frac{\vec{B}_{i,k} \cdot \vec{r}_{i,k}}{\mu_{i,k}} \alpha_{i,k} = r \sum_{k=1}^{N_{di}} \frac{B_{\perp i,k}}{\mu_{i,k}} \alpha_{i,k} = 0, \quad (12)$$

где длина дуги контура интегрирования, проходящего по k -му элементу равна $L_{i,k} = r\alpha_{i,k}$. Здесь $\alpha_{i,k}$ – угол k -го элемента при i -м узле; $B_{\perp i,k}$ – составляющая магнитной индукции в k -м элементе при i -м узле, перпендикулярная вектору $\vec{r}_{i,k}$ (см. рис. 1), соединяющему i -й узел с центром дуги $L_{i,k}$.

В методе конечных элементов принимается допущение о линейном распределении векторного магнитного потенциала по области треугольного элемента. При этом любая составляющая вектора магнитной индукции в пределах элемента имеет одинаковое значение во всех его точках. Составляющую магнитной индукции, перпендикулярную вектору $\vec{r}_{i,k}$ может быть найдена как плотность магнитного потока, пронизывающего контур, образованный данным вектором вдоль оси z :

$$B_{\perp i,k} = \frac{\Phi_{\perp i,k}}{l \cdot r} = \frac{I}{r} (A'_{i,k} - A_i) = \frac{I}{r} \left(\frac{A'_{i,k,2} + A'_{i,k,3}}{2} - A_{i,k,1} \right), \quad (13)$$

где $A_{i,k,1} = A_i$,

$$A'_{i,k,2} = A_{i,k,1} + \frac{r}{r_{i,k,2}} (A_{i,k,2} - A_{i,k,1}), \quad (14)$$

$$A'_{i,k,3} = A_{i,k,1} + \frac{r}{r_{i,k,3}} (A_{i,k,3} - A_{i,k,1}). \quad (15)$$

Здесь $r_{i,k,2}$ и $r_{i,k,3}$ – длины сторон k -го элемента при i -м узле.

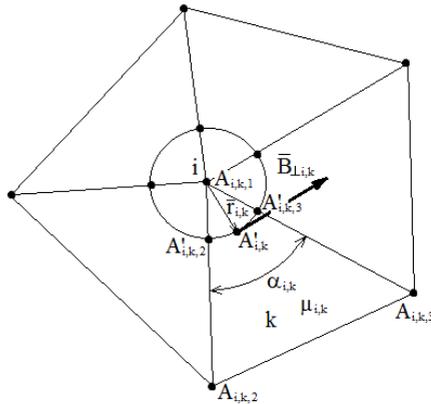


Рис. 1. Фрагмент конечно-элементной сетки

После подстановки (14) – (15) в (13) получаем

$$(16)$$

Подставляя (16) в (12), получаем

$$\sum_{k=1}^{N_{ik}} \left(\frac{\alpha_{i,k}}{\mu_{i,k}} \left[\frac{A'_{i,k,2}}{r_{i,k,2}} + \frac{A'_{i,k,3}}{r_{i,k,3}} - A_{i,k,l} \left(\frac{1}{r_{i,k,2}} + \frac{1}{r_{i,k,3}} \right) \right] \right) = 0. \quad (17)$$

Уравнение (17) может быть преобразовано к виду

$$A_i = A_{i,k,l} = \frac{\sum_{j=1}^{N_i} \left(\frac{A_{i,j}}{r_{i,j}} \left[\frac{\alpha_{i,j-1}}{\mu_{i,j-1}} + \frac{\alpha_{i,j}}{\mu_{i,j}} \right] \right)}{\sum_{k=1}^{N_{ik}} \left(\frac{\alpha_{i,k}}{\mu_{i,k}} \left[\frac{1}{r_{i,k,2}} + \frac{1}{r_{i,k,3}} \right] \right)} = 0, \quad (18)$$

где N_i – количество соседних узлов вокруг i -го узла.

Здесь в числителе стоит сумма по узлам, окружающим i -й узел, а в знаменателе – сумма по элементам вокруг i -го узла. При этом нумерация элементов вокруг i -го узла совпадает с нумерацией узлов, образующих с i -м узлом сторону элемента, от которого данный элемент достраивается против часовой стрелки.

Задача решается методом итераций по узлам. Данный алгоритм реализован в программном коде и протестирован на нескольких задачах, в том числе с учетом нелинейности кривой намагничивания стали.

*Д.М. Севрюгов, асп.; рук. А.И. Тихонов, д.т.н. проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВИРТУАЛЬНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД-ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Термодинамика изучает макросистемы, используя наиболее общие закономерности, являющиеся обобщением большого количества опытных фактов. Выводы термодинамики не зависят от принимаемых модельных представлений о строении вещества и характере взаимодействия его структурных элементов. Однако при моделировании термодинамических систем (ТДС) часто используется подход, основанный на положениях молекулярной физики. В то же время выводы молекулярной физики ограничены принятыми модельными представле-

ниями, и в этом её главный недостаток. Таким образом, молекулярная физика и термодинамика дополняют друг друга.

При моделировании ТДС методом Монте-Карло каждой молекуле ставится в соответствие некий виртуальный объект (частица). Множество таких частиц, двигающихся в реальном времени в виртуальном пространстве, представляет собой имитационную модель ТДС.

Так как количество молекул газа N в ТДС оказывается чрезмерно большим, то для моделирования ТДС рационально воспользоваться методами теории подобия. При этом количество частиц в модели N' можно задать по своему усмотрению, так что $N' \ll N$. Задавая произвольными значениями независимых масштабов ($m_N = N' / N$, $m_l = l' / l$, $m_t = t' / t$) можно рассчитать все зависимые масштабы, выразив их через независимые. Здесь m_l – масштаб по длине; m_t – масштаб по времени; штрихованные величины относятся к модели, нештрихованные – к оригиналу.

Модель термодинамической системы, используемой в виртуальном лабораторном стенде-тренажере, представляет собой цилиндр, объем которого может изменяться с помощью подвижного поршня (рис. 1). Для стенок цилиндра может быть задана температура. Поведение частиц модели, являющихся прообразами молекул газа, в общих чертах повторяет поведение структурных элементов реального явления, то есть молекул. Однако это подобие является неполным. В частности, отсутствует факт взаимного соударения частиц модели, так как считается, что все частицы одинаковы и неразличимы и при соударении обмениваются импульсом таким образом, что траектории двух взаимодействующих частиц представляют собой пересекающиеся прямые линии.

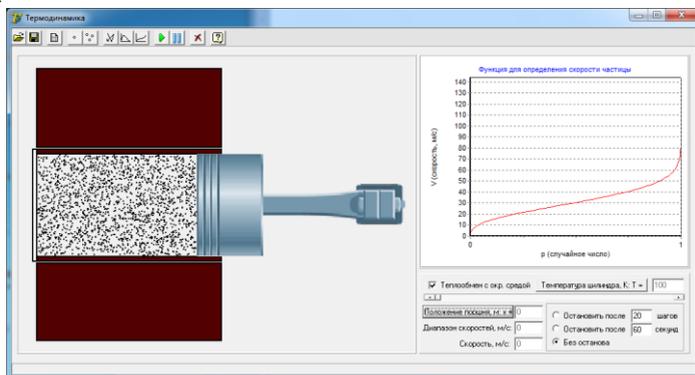


Рис. 1. Внешний вид виртуального лабораторного стенда-тренажера

В случае моделирования неоднородного газа или жидкости реальная смесь заменяется однородным газом, состоящим из молекул с эффективной массой m_0

$$m_0 = \frac{\sum_i^N m_{0i} v_i}{\sum_i^N v_i}, \quad (1)$$

где N – количество газов в смеси; m_{0i} – эффективная масса молекулы i -го газа смеси; v_i – количество молей i -го газа смеси.

Средняя длина свободного пробега частиц $\langle l' \rangle$ выбирается из условия соответствия ее средней длине пробега молекул газа $\langle l \rangle$, которая в свою очередь вычисляется по заданной динамической вязкости газа

$$\langle l' \rangle = \frac{1}{N'} \sum_{i=1}^{N'} l'_i = m_i \langle l \rangle = m_i \frac{3\eta}{nm_0 u}, \quad (2)$$

где n – концентрация молекул; u – среднеквадратичная скорость молекул газа при заданной температуре; η – динамическая вязкость газа.

Конкретное значение длины свободного пробега данной частицы l'_i находится с помощью генератора случайных чисел из условия

$$\omega_i(l') = e^{-\frac{l'_i}{\langle l' \rangle}}, \quad (3)$$

где $\omega_i(l')$ – вероятность того, что i -я частица пролетит без столкновения путь l'_i .

При соударении частиц со стенками цилиндра происходит теплообмен. При этом скорость частицы v' изменяется в соответствии кривой распределения Максвелла для заданной температуры стенки. Количество тепла, переданного через теплопроводную стенку

$$Q = \frac{Q'}{m_w} = \frac{m_i^2}{m_i^2} \frac{i}{3} \sum_{j=1}^{N'_i} \left[\frac{m'_0}{2} (v'^2_{j+} - v'^2_{j-}) \right], \quad (4)$$

где m_w – масштаб по энергии; N'_i – количество частиц, ударившихся о стенку за некоторое время t' ; i – количество степеней свободы молекулы газа; v'_{j+} и v'_{j-} – скорость j -й частицы до (индекс «-») и после (индекс «+») столкновения со стенкой.

В ходе имитационного эксперимента фиксируются параметры системы частиц, которые с помощью масштабных коэффициентов пересчитываются в термодинамические параметры газа, а именно:

- давление газа на стенки ТДС

$$p = \frac{p'}{m_p} = \frac{n'm'_0}{3N'm_p} \sum_{i=1}^{N'} (v_{xi}^2 + v_{yi}^2 + v_{zi}^2); \quad (5)$$

- температура газа

$$T = \frac{T'}{m_T} = \frac{p'}{m_T n' k}; \quad (6)$$

- внутренняя энергия газа:

$$W = \frac{W'}{m_w} = \frac{i}{2m_w} \nu R' T' = \frac{i}{2m_T} \nu R T'. \quad (7)$$

Разработанный имитационный стенд используется в учебном процессе в курсе общей физики.

Библиографический список

1. **Севрюгов Д.М.,** Тихонов А.И. Разработка версии метода Монте-Карло для моделирования теплового поля (XVI Бенардосовские чтения): Материалы междунар. науч.-техн. конф. / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2011. – с.134-137.
2. **Тихонов А.И.,** Шмелева Г.А., Севрюгов Д.М. Исследование имитационных моделей термодинамических систем (молекулярная физика): метод. указания к выполнению лаб. работ с использованием виртуального лабораторного стенда; Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2012. – 36 с.
3. **Тихонов А.И.,** Шмелева Г.А., Севрюгов Д.М. Исследование имитационных моделей термодинамических систем (равновесные процессы в идеальном газе): метод. указания к выполнению лаб. работ с использованием виртуального лабораторного стенда; Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2013. – 36 с.

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

МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕМЕНТАХ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ

В настоящее время актуальность приобретает задача разработки специализированных приложений для расчета сложного теплообмена в твердых телах. Одним из направлений моделирования тепловых процессов является использование электрических схем замещения. Теоретические основы данного метода моделирования строятся исходя из

факта изоморфизма уравнений, описывающих тепловые процессы и электрические цепи.

Согласно основному закону теплопроводности, количество тепла Q , передаваемого за единицу времени через произвольную изотермическую поверхность S , прямо пропорционально градиенту температуры ϑ в направлении теплового потока:

$$q = \frac{Q}{S} = -\lambda \operatorname{grad} \vartheta, \quad (1)$$

где q – плотность теплового потока; Q – количество тепла, передаваемого за единицу времени через произвольную изотермическую поверхность S , λ – удельная теплопроводность материала; ϑ – температура.

При одномерном распространении тепла через стенку толщиной b_c при отсутствии в ней источников тепла имеем

$$Q = -\lambda S \frac{d\vartheta}{dx} = -\lambda S \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{b_c} = \lambda S \frac{\Theta}{b_c}. \quad (2)$$

где ϑ_1 и ϑ_2 – температуры на границах стенки вдоль линии распространения тепла; $\Theta = \vartheta_1 - \vartheta_2$ – перепад температур.

Конвективный теплообмен между поверхностью твердого тела с температурами ϑ_n и газообразной средой с температурой $\vartheta_{охл}$ описывается уравнением

$$Q = \alpha S (\vartheta_n - \vartheta_{охл}) = \alpha \cdot S \cdot \Theta, \quad (3)$$

где α – коэффициент теплоотдачи поверхности; Θ – превышение температуры поверхности над температурой охлаждающей среды.

Введем понятие теплового сопротивления R_m , определяющего перепад температуры. Для однородной стенки

$$R_m = \frac{b_c}{\lambda S}, \quad (4)$$

для теплоотдачи с поверхности

$$R_m = \frac{1}{\alpha S}. \quad (5)$$

С учетом (4) и (5) выражения (2) и (3) получают форму закона Ома для участка тепловой цепи:

$$Q = \frac{\Theta}{R_m}. \quad (6)$$

При неизменных потерях Q , выделяемых в теле, дифференциальное уравнение нагрева однородного тела имеет вид

$$Qdt = cmd\Theta + \alpha S\Theta dt \quad (7)$$

где t – время; c – удельная теплоемкость; m – масса тела.

Представим уравнение (7) в виде

$$d\Theta = \frac{I}{C_m} \left(Q - \frac{\Theta}{R_m} \right) dt, \quad (8)$$

где $C_m = cm$ – теплоемкость тела.

Это уравнение изоморфно с уравнением электрической цепи на рис. 1:

$$dU_c = \frac{dq_c}{C} = \frac{I}{C} i_c d\tau = \frac{I}{C} \left(I - \frac{U_c}{R} \right) d\tau, \quad (9)$$

Где U_c – напряжение на конденсаторе; q_c – заряд конденсатора; C – емкость конденсатора; i_c – ток конденсатора; τ – время; I – ток в ветви с источником тока; R – сопротивление.

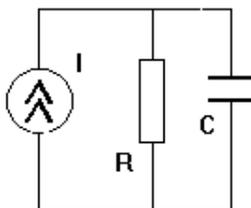


Рис. 1. Электрическая схема замещения участка тепловой цепи

Таким образом любому тепловому процессу можно поставить в соответствие электрическую схему замещения, которую можно исследовать численными методами. Правила построения электрической схемы замещения тепловых процессов:

1. Тепловые сопротивления заменяются электрическими.
2. На месте источника теплового потока в эквивалентной электрической цепи ставится узел, в который входит ветвь от эквивалентного источника тока; свободный вывод источника тока заземляется.

В частности на рис. 2 приведен фрагмент электрической схемы замещения тепловых процессов в фольговой обмотке сухого трансформатора, выполненной в среде Simulink пакета MatLab. Обмотка состоит из двух концентроров, намотанных алюминиевой лентой. Вследствие эффекта вытеснения тока теплотери распределяются в ней неравномерно. Поэтому обмотка делится условно на расчетные секции в форме колец, в которых задаются рассчитанные теплотери. На рис. 3

приведены результаты расчета распределения температуры в данной модели в сравнении с результатами эксперимента.

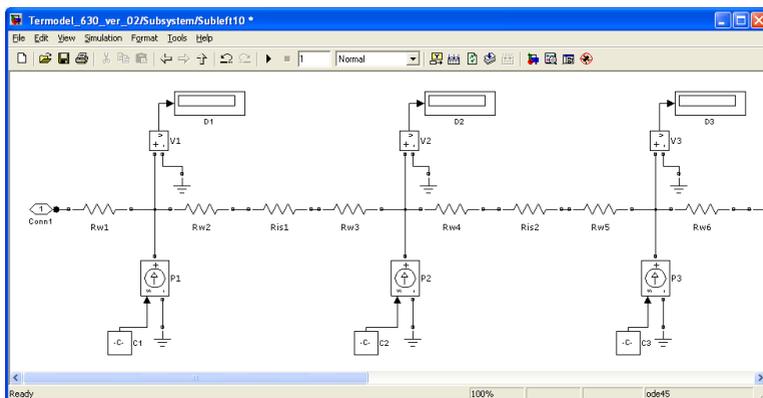


Рис. 2. Фрагмент электрической схемы замещения расчетной секции фольговой обмотки сухого трансформатора в Simulink

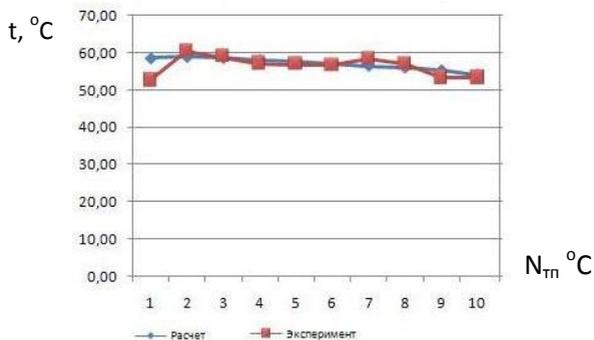


Рис. 3. Результаты теплового расчета и испытаний обмотки НН ТСЛ-630/0,4 (N_{тп} – номер секции по высоте обмотки)

Библиографический список

1. **Тихонов А.И.** Основы теории подобия и моделирования (электрические машины): Учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иванов, 2011. – 132 с.
2. **Стулов А.В., Тихонов А.И.** Тепловой расчет обмоток сухих трансформаторов и токоограничивающих реакторов с использованием электрических схем замещения/Вестник ИГЭУ, вып.6. – Иванов, 2012 – стр.40-43

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

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ, КАК МЕТОД ПОИСКА ЭКСТРЕМУМА ФУНКЦИЙ РАЗЛИЧНОЙ СЛОЖНОСТИ

Поиск минимума функции является традиционным процессом, как в научной, так и технической деятельности. Несмотря на распространенность, традиционность и изученность, процесс оптимизации (поиск минимума или максимума) по-прежнему актуален [1, 2, 3, 4, 5].

Метод полного перебора [1] позволил бы решить задачу поиска экстремума для функции любой сложности. Однако при высокой точности, большой размерности пространства параметров оптимизации и большой области допустимых значений этот метод становится нереализуемым. Универсальное применение прочих методов осложняется наличием трех особенностей:

- 1) функция может быть многоэкстремальной;
- 2) функция может иметь выраженную овражность;
- 3) функция может быть дискретной и иметь разрывы.

Особенности поиска экстремумов многоэкстремальных функций хорошо изучены и освещены в литературе [1, 3, 4, 5]. Универсального метода, способного точно определять экстремум таких функций не существует. Удовлетворительная точность достигается лишь при разработке специализированного под конкретную задачу алгоритма.

Аналогична ситуация и с дискретностью функций [1, 2]. В большинстве случаев предлагается приведение дискретных функций к непрерывному виду, что не всегда возможно.

Наиболее трудной является проблема овражности функций [2]. Оптимизация технических объектов сводится к работе именно в условиях овражности исследуемой функции.

Большинство специализированных методов позволяют работать с функциями, решая лишь одну проблему теории минимизации (многоэкстремальность, овражность, дискретность).

После анализа литературы и традиционных методов поиска экстремума функции была выявлена необходимость поиска алгоритма, который мог бы работать и с многоэкстремальностью, и с овражностью, и с дискретностью аргументов функции.

В качестве такого метода предлагается использовать эволюционные алгоритмы [3], коэволюционные алгоритмы [4] и генетические алгоритмы (ГА) [5].

Генетические алгоритмы основаны на принципах естественного отбора в живой природе, в них используется эволюционный принцип выживания наиболее приспособленных особей. При описании ГА используются определения заимствованные из генетики и основные понятия линейной алгебры.

Так каждый из аргументов исследуемой функции будет называться геном, а весь вектор входных параметров (аргументов функции) будет называться генотипом и нести в себе наследственную информацию, решение функции (значение функции) будет называться фенотипом (может быть, как скалярной, так и векторной величиной).

Для применения принципов наследственности и изменчивости используются генетические операторы имитирующие скрещивание, мутации, борьбу за жизнь и другие.

Для демонстрации возможностей ГА как универсальных методов поиска экстремумов функции выбран ряд тестовых функций и разработаны различные модификации эволюционных методов оптимизации.

Тестовые функции:

1. Трехмерная парабола – тестовая функция №1.

$$f_{цел}(x_1, x_2) = (x_1 + A)^2 + (x_2 - B)^2 - C \quad (1)$$

где А и В – некие коэффициенты

Данная функция наиболее проста и не имеет ни локальных минимумов, ни овражности.

2. Функция Розенброка (Rosenbrock) – тестовая функция №2.

$$f_{цел}(x_1, x_2) = A * (x_2 + x_1^2)^2 + (x_1 - B)^2 \quad (2)$$

где А и В – некие коэффициенты

Данная функция часто применяется при тестировании различных методов оптимизации в связи с наличием овражности и наличием локального минимума. Предполагается использование данной функции с различной степенью овражности и многоэкстремальности. Тестовая функция №2а – почти без «оврага» и локальных минимумов; №2б – с выраженной овражностью и локальным минимумом.

3. Функция Химмельблау (Himmelblau) – тестовая функция №3.

$$f_{цел}(x_1, x_2) = (x_1^2 + x_2 - A)^2 + (x_1 + x_2^2 + B)^2 \quad (3)$$

где А и В – некие коэффициенты

Данная функция имеет несколько локальных минимумов, расположенных на дне ярко выраженного «оврага»

В результате, ГА достаточно хорошо справились с тестовыми функциями. Затруднения вызвали функции №2б, №3.

Стандартная модель ГА не смогла отыскать минимум функции №26 и крайне долго работала с функцией №3.

Затруднение связано с овражностью функций. Для решения возникших проблем пришлось модифицировать стандартную модель ГА. Были разработаны следующие модели ГА:

1. Модифицированный генетический алгоритм (ГАМ).

Модификации подверглись такие генетические операторы, как скрещивание, отбор особей в следующее поколение, стратегия выбора родительских пар.

2. Модифицированный ГА с обучением лучшей особи методом Нелдера – Мида (ГАНМ).

Метод Нелдера – Мида (или симплекс – метод) является одним из лучших методов при работе с овражными функциями, но он непригоден в многоэкстремальных задачах [1, 2]. Объединение достоинств данного метода с возможностями ГА позволило бы решить проблему овражности и многоэкстремальности исследуемых функций.

3. Параллельный генетический алгоритм (ПГА).

В данном алгоритме заложено сразу несколько параллельно развивающихся эволюционных моделей, что является оптимизацией стратегии минимизации функции. Это избавляет нас от необходимости настраивать ГА под конкретную задачу и делает его более универсальным. В основе ПГА лежит островная модель ГА.

Результаты тестирования разработанных алгоритмов приведены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1 – Результаты тестирования ГАМ

Номер функции	№1	№2а	№2б	№3
Достижение минимума	Успешно	Успешно	Успешно	В 65%
Число поколений	180	3186	17108	975
Время вычисления (сек)	0,2	1,62	8,24	0,55

Таблица 2 – Результаты тестирования ГАНМ

Номер функции	№1	№2а	№2б	№3
Достижение минимума	Успешно	Успешно	Успешно	Не достиг
Число поколений	250	110	192	-
Время вычисления (сек)	0,72	0,2	0,34	-

Таблица 3 – Результаты тестирования ПГА

Номер функции	№1	№2а	№2б	№3
Достижение минимума	Успешно	Успешно	Успешно	Успешно
Число поколений	150	2500	13500	2800
Время вычисления (сек)	0,2	2	9,5	2,14

ГАНМ не смог определить минимум функции №3, однако очевидна возможность объединения возможностей ГА с традиционными методами. ГАНМ выигрывает в скорости работы и в качестве поиска экстремума (особенно у овражных функций).

Более универсальным методом поиска экстремума оказался ПГА, он справился со всеми функциями, но ПГА показал меньшую скорость работы по сравнению с ГАНМ и ГАМ.

Дальнейшее совершенствование универсальности и эффективности эволюционных методов необходимо искать в объединении достоинств ПГА с ГАНМ.

Структура построения ПГА позволяет добавлять различные стратегии оптимизации функций, что позволит объединить ПГА с ГАНМ, либо с другим алгоритмом, реализующим иную стратегию развития ГА, а так же позволяет использовать традиционные методы оптимизации.

Разработанные алгоритмы поиска оптимального решения предполагается использовать при оптимизации проектов технических устройств, в частности силовых трансформаторов и токоограничивающих реакторов. В качестве целевой функции используется минимизируемая себестоимость изготовления спроектированного устройства.

Библиографический список

1. **Пантелеев А.В.** Методы оптимизации в примерах и задачах. – М.: Высш. шк., 2002.
2. **Ларичев О.И.** Методы поиска локального экстремума овражных функций. – М.: Наука, 1989.
3. **Каширина И.Л.** Введение в эволюционное моделирование. – Воронеж, 2007
4. **Жукова М.Н.** Коэволюционный алгоритм решения сложных задач оптимизации. – Красноярск: СибГАУ, 2004.
5. **Панченко Т.В.** Генетические алгоритмы. – Астрахань: Астраханский Университет, 2007.

*Ф.А. Мухин, студ.; рук. А.И. Тихонов, д.т.н. проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОМПЛЕКТ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Кафедра физики является общеобразовательной невыпускающей кафедрой ИГЭУ. Через нее проходят студенты всех технических специальностей ИГЭУ. Без знания общей физики студент технического вуза не способен должным образом избранную им специальность. В то же время физику невозможно изучать без демонстраций физических законов и эффектов, а также без лабораторного практикума и практических занятий, связанных с решением физических задач.

В связи с переходом на бакалавриат для сохранения уровня подготовки студентов кафедра физики приняла решение усилить акцент на развитие интерактивных форм обучения. В числе прочего это требует проведения работ по созданию базы виртуальных лабораторных установок и компьютерных средств для проведения практических занятий.

Главным достоинством компьютерных моделей является возможность самостоятельного наглядного детального изучения физических принципов. Особенно значительный эффект возникает при использовании компьютерных тренажеров, позволяющих имитировать физический эксперимент путем реализации адекватных моделей физических процессов [1, 2, 3]. Тренажер может быть использован не только для проведения изначально запланированной программы, но и для реализации произвольной программы исследований.

Оригинальной формой компьютерных тренажеров могут служить типовые задачи по физике, решение которых реализовано с использованием математических процессоров MatLab или MathCad.

Главной особенностью математических процессоров является наличие мощных библиотек численной математики, которые могут быть использованы для решения прикладных задач в интерактивном или пакетном режимах. Помимо математических функций такие пакеты, как правило, предоставляют пользователю и средства программирования, позволяющие сформировать программу проведения и обработки результатов численного эксперимента. При этом результаты эксперимента можно анимировать таким образом, что возникает полное ощущение имитации работы с реальными физическими объектами и установками. При этом разработчик программного обеспечения не обязан быть профессиональным программистом и знать тонкости компьютерных технологий. Тем не менее, созданный им программный

продукт может не уступать по функционалу и красоте интерфейсных конструкций современным компьютерным системам.

Лабораторные работы по физике
Часть 1. Механика
Лабораторная работа №1
Движение материальной точки в поле гравитации

Условия задачи:
 Тело брошено под углом к горизонту с заданной начальной скоростью. Сила сопротивления воздуха пренебрега.

1. Начальная высота, м $y_0 = 0$
 2. Начальная скорость, м/с $v_0 = 10$
 3. Угол по отношению к горизонту, град $\alpha = 60$
 4. Время полета, с $t_p = 10$

Рассчитать:
 1) траекторию полета,
 2) дальность полета за время t_p
 3) проекция скорости и ускорения на оси координат в любой момент времени,
 4) радиус кривизны траектории в любой момент времени.

Решение задачи
 1. Пересчет угла по отношению к горизонту, рад $\alpha_{\text{рад}} = \alpha \frac{\pi}{180}$
 2. Ускорение свободного падения, м/с² $g = 9.8$
 3. Координаты точки траектории полета, м

$$x(t) = v_0 \cos(\alpha) t \quad y(t) = v_0 \sin(\alpha) t - g \frac{t^2}{2}$$

 4. Проекция скорости на оси координат, м/с

а)

$x_{mn}(\tau)$
 $y_{mn}(\tau)$
 $v(\tau) \cdot m_p$
 $a_x(\tau) \cdot m_a$
 $a_y(\tau) \cdot m_a$
 $a_z(\tau) \cdot m_a$

б)

Рис.1. Типовые задачи по физике с элементами анимации:

а) движение материальной точки в поле гравитации; б) законы сохранения и колебательные движения

В настоящее время разработан комплект задач по механике, который может быть использован как для проведения практических заня-

тий в часы самостоятельной работы студентов, так и для анимации физических эффектов на лекционных занятиях.

Список типовых задач включает в себя:

1. Движение материальной точки в поле гравитации.
2. Тела на наклонной поверхности.
3. Динамика вращательного движения.
4. Изучение обратного маятника.
5. Тело на пружине.

Несмотря на ограниченный список типовых задач, каждая из них может быть модифицирована с помощью исходных данных таким образом, что тематический охват оказывается достаточно широким. Задавая различные исходные данные можно формировать индивидуальные задания для студентов.

Каждая задача сопровождается подробным комментарием всех выполняемых операций. Помимо собственно расчета, в каждой задаче присутствует сценарий, разворачивающийся во времени, что позволяет анимировать исследуемый процесс средствами математического процессора. Кроме того, изменение физических величин во времени и характерные изменения величин в фазовых пространствах представлены в виде графиков. Все это позволяет использовать данные типовые задачи не только для понимания теоретического материала и созданий демонстраций физических эффектов, но и в качестве инструментария для проведения лабораторных работ.

Разработанный комплект типовых задач будет полезен для студентов и служит целям повышения качества учебного процесса. В дальнейшем планируется расширить перечень типовых задач и проработать методику проведения практических занятий с их использованием.

Библиографический список

1. **Тихонов А.И., Прохорова Н.В.** Электричество: метод. указания к выполнению лаб. работ с использованием виртуального лабораторного стенда / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», Каф. электромеханики. – Иваново, 2010. – 36 с.
2. **Тихонов А.И., Прохорова Н.В.** Магнетизм: метод. указания к выполнению лаб. работ с использованием виртуального лабораторного стенда / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», Каф. электромеханики. – Иваново, 2011. – 36 с.
3. **Тихонов А.И., Шмелева Г.П., Севрюгов Д.М.** Исследование имитационных моделей термодинамических систем (молекулярная физика): метод. указания к выполнению лаб. работ с использованием виртуального лабораторного стенда / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2012. – 36 с.

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

ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С УЧЁТОМ ВЗАИМНЫХ ИНДУКТИВНОСТЕЙ

Расчётные модели, имитирующие физические процессы, отличаются не только качественно, но и по таким критериям, как универсальность, простота, точность и скорость расчёта. Существуют модели, в которых поведение каждого элемента имитируется в виде функции от одного или нескольких переменных

$$f(\mathbf{X}) \rightarrow g(\mathbf{X}) \rightarrow h(\mathbf{X}) \rightarrow \dots, \quad (1)$$

где выходные значения одного элемента являются входными значениями для другого. Такая модель универсальна, но сложна в разработке, несовершенна в точности и скорости расчёта.

Другим подходом является создание моделей, сводящих решение задачи к системе алгебраических или дифференциальных уравнений, в общем случае нелинейных.

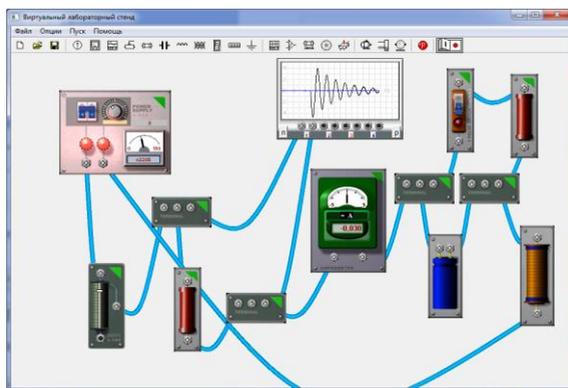


Рис 1. Виртуальный лабораторный стенд.

Одним из компромиссов является метод, в котором элементы модели представлены схемами замещения, построенными из ограниченного набора базовых элементов, описываемых дифференциальными уравнениями первого порядка. Наиболее удобными являются электрические схемы замещения. Такая модель может быть сведена к системе нелинейных дифференциальных уравнений.

Формирование модели электрической цепи может осуществляться в соответствии с методом переменных состояния (смешанных вели-

чин). Данная модель обеспечивает хорошую точность, скорость расчёта и реализует основные элементы электрической цепи: источник тока, источник напряжения, сопротивление, индуктивность и ёмкость.

Основы математического аппарата метода смешанных величин разобраны в [1]. Базовое приложение, в которое внедрена разработанная математическая библиотека, к примеру, виртуальный лабораторный стенд (рис.1), поставляет для генерации математической модели электрической цепи полный набор функций, позволяющих построить граф электрической цепи, из которого выделяется остов, а затем строится матрица соединений, обработка которой по методу переменных состояния позволяет получить систему обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих динамические режимы электрической цепи.

Ветви графа, характеризующиеся напряжением, ёмкостью или сопротивлением называются z-ветвями, а ветви, которые содержат источники тока и катушки индуктивности – y-ветвями. В остов входят все источники напряжения, и стараются включить наибольшее количество электроёмкостей. Оставшиеся ветви остова при невозможности построения только из заданных элементов включают в себя сопротивление и индуктивности. Для узлов графа, к которому подходит всего одна ветвь остова и любое количество связей, строится уравнение по методу сечений (сечение окружает данный узел, пересекая только одну ветвь остова). Для контуров графа, в который входит только одна связь, строится уравнение по методу контурных токов.

Имея матрицу соединений \mathbf{A} , можно получить матрицы сечений и контуров, из которых в итоге строится система уравнений

$$\begin{bmatrix} \mathbf{D}_y \mathbf{Y}_y \mathbf{D}_y^t & -\mathbf{F}_{zy}^t \\ \mathbf{F}_{zy} & \mathbf{C}_z \mathbf{Z}_z \mathbf{C}_z^t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{U}_y \\ \mathbf{I}_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где \mathbf{D}_y – подматрица матрицы контуров, соответствующая y-связям; \mathbf{C}_z – подматрица матрицы сечений, соответствующая z-ветвям; \mathbf{F}_{zy} – подматрица матрицы сечений, соответствующая y-ветвям дерева, которые входят в контуры, образованные z-связями; матрицы \mathbf{Y}_y и \mathbf{Z}_z – матрицы переходных проводимостей и сопротивлений.

Некоторые элементы матриц \mathbf{Y}_y и \mathbf{Z}_z содержат дифференциальный оператор $p = \frac{d}{dt}$ в виде $Z(p) = Lp$ и $Y(p) = \frac{1}{Cp}$. Выражая эти элементы из системы уравнений (2), приводим ее к каноническому виду Коши:

$$\frac{d}{dt} \mathbf{X} = \mathbf{M}^{-1} \mathbf{F}, \quad (3)$$

где \mathbf{X} – вектор неизвестных (мгновенные токи для уравнений, построенных по методу контурных токов, и мгновенные напряжения для уравнений, построенных по методу сечений); \mathbf{M} – квадратная матрица коэффициентов; \mathbf{F} – вектор правых частей.

Матрица коэффициентов \mathbf{M} имеет диагональную структуру при отсутствии взаимных индуктивностей. В противном случае в ней появляются ненулевые элементы, соответствующие индуктивной связи i -го и j -го контуров с током, где i – номер диагонального элемента, соответствующий номеру дифференциального уравнения в системе (3); j – номер контура, индуктивно связанного с i -м контуром.

При формировании матрицы \mathbf{M} осуществляется многократная перестановка столбцов, при которой теряется нумерация элементов электрической цепи. Поэтому приходится особое внимание уделять смещению ненулевых недиагональных элементов.

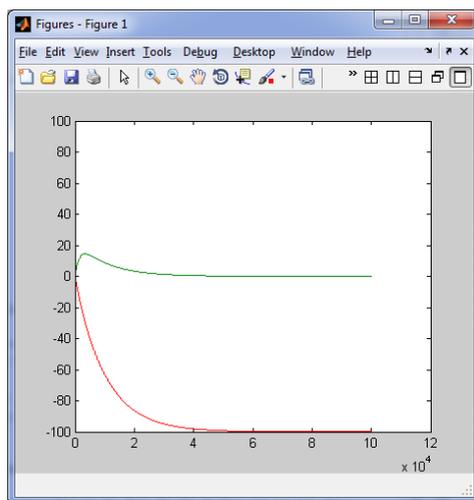


Рис. 2. Пример расчёта трансформатора в MathLab, с использованием библиотеки

При отсутствии взаимных индуктивностей система уравнений (3) может быть разбита на несколько несвязанных систем уравнений, соответствующих автономным цепям, электрически не связанных друг с другом. При наличии взаимных индуктивностей, если цепи связаны

индуктивно приходится сводить автономные цепи в одну систему уравнений. Это приводит к усложнению математического аппарата.

Система уравнений (3) распадается на две подсистемы уравнений:

- подсистема алгебраических уравнений, соответствующих контурам электрической цепи с сопротивлениями R ;
- подсистема обыкновенных дифференциальных уравнений, соответствующих элементам электрической цепи, заданным переходными сопротивлениями $Z(p)$ и $Y(p)$.

На каждом шаге интегрирования сначала решается первая подсистема уравнений, затем вторая.

Разработана и испытана на классических примерах (рис. 2) динамически подключаемая библиотека, способная интегрироваться в разрабатываемые приложения или в приложения, имеющие собственные системы программирования, адаптируя их к решению задач моделирования электрических цепей.

Библиографический список

4. **Нейман Л.Р.**, Демирчан К.С. Теоретические основы электротехники. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. – Т. 1. – 536 с.
5. **Тихонов А.И.** Разработка моделей и методов анализа и синтеза решений в автоматизированном проектировании электромеханических устройств. Диссертация на соиск. уч. ст. д.т.н., специальность 05.13.12. – Системы автоматизации проектирования (электротехника и энергетика), Иваново, 2007г.