



НИТИ
РОСАТОМ

ГODOVOЙ ОТЧЕТ 2020

«Научно-исследовательский технологический институт
имени А.П. Александрова»





НИТИ
РОСАТОМ

Научно-исследовательский
технологический институт
имени А.П. Александрова

ГОДОВОЙ ОТЧЕТ 2020



УДК-621.039.577.056

ББК-31.46

Редакционная комиссия:

В.А. Василенко (главный редактор)

Ю.В. Крюков

А.А. Сулацкий

А.Л. Дмитриев

О.И. Косульников

Компьютерная вёрстка:

Е.В. Куликова, П.С. Суворов

Фото:

Д.С. Веденин

Ответственный за выпуск отчёта:

Ю.В. Крюков

Семнадцатое официальное издание годового отчёта ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» включает в себя основные результаты научно-технической и производственной деятельности института за 2020 год.

В отчёте содержатся также социально-экономические показатели работы НИТИ, кадровый состав, структура института, сведения о награждениях и некоторых юбилейных датах.

© ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2021



В 2020 году — 75-летний юбилей
атомной промышленности России

СОДЕРЖАНИЕ

ОБРАЩЕНИЕ ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА	8
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	15
1.1 Административная структура	16
1.2 Основные научно-технические подразделения	17
1.3 Управление персоналом.....	18
2. ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ НА СТЕНДАХ-ПРОТОТИПАХ ТРАНСПОРТНЫХ ЯЭУ	20
2.1 Работы и исследования, проводимые на стенде КВ-1	21
2.2 Работы, проводимые на стенде КВ-2	24
2.3 Работы по реконструкции стенда КМ-1	25
3. ДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, СОЗДАНИЕ ТРЕНАЖЁРОВ	27
3.1 Работы отделения динамических исследований в 2020 году.....	28
3.2 Основные проектные решения при разработке программно- технического комплекса верхнего уровня автоматизированной системы радиационного контроля стенда КМ-1	30
3.3 Разработка, изготовление и поставка аппаратуры систем технического диагностирования главных циркуляционных насосных агрегатов для АЭС «Руппур» блок № 1 в Бангладеш и АЭС «Аккую» блок № 1 в Турции.....	34
3.4 Разработка и ввод в эксплуатацию первой очереди РМК испытательного комплекса «Ресурс»	37
3.5 Перевод системного программного обеспечения ПК ТЕРМИТ в операционную систему ASTRA Linux	39
3.6 Развитие расчётно-моделирующего комплекса стенда КМ-1	45

3.7	Создание, применение и развитие функционального тренажёра системы управления технологическими системами стендового комплекса	48
3.8	Разработка и изготовление мобильного управляющего комплекса «Алиссум» для комплексного опробования технологических систем стендов ЯЭУ	52
3.9	Особенности создания аппаратуры нижнего уровня для системы управления технологическим оборудованием стенда	55
4.	НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	67
	НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	68
4.1	Разработка расчётной модели нейтронно-физических процессов РУ стенда КМ-1	69
4.2	Развитие комплекса программ САПФИР_95&RC_ВВЭР. Программа-оболочка для подготовки расчётных моделей и выполнения проектных стационарных нейтронно-физических расчётов активных зон РУ ВВЭР	74
4.3	Апробация расчётной модели выгорания топлива в ТВС на основе результатов гамма-сканирования, полученных в рамках послереакторных исследований отработавших ТВС стенда КВ-1	80
4.4	Измеритель линейный импульсно-токовый «Фаворит»	87
	ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	90
4.5	Разработка, верификация и практическое использование РК КОРСАР/ЖМТ	91
4.6	Экспериментальная установка «Корвет-2»	97
5.	ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И РАДИОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	107
5.1	Результаты экологического мониторинга выбросов, сбросов и объектов природной среды в районе расположения ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в 2020 году	111
5.2	Расчётно-экспериментальные исследования растворимости газов в обоснование теплофизических параметров систем АХК теплоносителя первого контура АЭС с ВВЭР	126
5.3	Разработка технологии пассивации парогенераторов ПГ Н-272 РУ БН-800	141

5.4	Исследование выделения водорода при нагреве образцов сталей с противокоррозионными защитными покрытиями в условиях, приближенных к аварийным	155
6.	ИССЛЕДОВАНИЯ ТЯЖЁЛЫХ АВАРИЙ	167
6.1	Изготовление и исследование образцов кориума, прототипного внекорпусной стадии аварии на АЭС Фукусима-Дайичи	168
6.2	Разработка программы и проведение экспериментальных исследований процессов, протекающих при гипотетических авариях с расплавлением активной зоны реактора со свинцовым теплоносителем	172
7.	РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ	177
7.1	Учёт человеческого фактора при проектировании АЭС	178
7.2	Разработка детальной методики обзора и применения опыта эксплуатации АЭС в части человеческого фактора для проекта сооружения АЭС «Ханикиви-1»	189
8.	ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	201
8.1	Деятельность отдела радиационной безопасности в 2020 году	202
8.2	Внереакторная дефектация ОТВС активной зоны стенда КВ-1	203
8.3	Поставка эталонных дозиметрических установок гамма- и нейтронного излучения	207
9.	МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ НА СТЕНДАХ-ПРОТОТИПАХ ТРАНСПОРТНЫХ ЯЭУ	211
10.	ВНЕДРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	217
11.	СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА	221
11.1	Система менеджмента качества предприятия	222
11.2	Оценка соответствия продукции	224
11.3	Развитие производственной системы «Росатом»	225

12. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ	226
12.1 Работа по международным соглашениям и контрактам	227
12.2 Участие в международных мероприятиях, конференциях и совещаниях ..	231
12.3 Научно-технические издания, публикации	232
12.4 Управление интеллектуальной собственностью	240
12.5 Участие специалистов НИТИ в семинарах и конференциях Госкорпорации «Росатом»	243
13. ГРАЖДАНСКАЯ ОБОРОНА И ЗАЩИТА ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ...	244
14. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ	256
14.1 Основные итоги деятельности предприятия	257
14.2 Работа по подготовке и развитию персонала под стратегические задачи института	258
14.3 Поощрения, награды	261
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	270

ОБРАЩЕНИЕ ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА



Генеральный директор
ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»
Василенко Вячеслав Андреевич

Уважаемые друзья, коллеги, партнеры!

В 2020 году российской атомной промышленности исполнилось 75 лет. Следует отметить, что еще до начала испытаний атомного оружия советскими учеными уже исследовалась возможность мирного использования атомной энергии. Об успешности пути, пройденного отечественной атомной отраслью в этом направлении, свидетельствует то, что в 1954 году с вводом в строй первой в мире атомной электростанции наша страна стала родиной атомной энергетики. Также Россия является единственной в мире страной, имеющей атомный ледокольный флот.

ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», созданный в 1962 году по инициативе и под руководством академика Анатолия Петровича Александрова как Государственная испытательная станция для отработки судовых ядерных энергетических установок (ЯЭУ), за 59 лет успешной научно-инженерной деятельности внес существенный вклад в развитие и совершенствование отечественной транспортной ядерной энергетики, достижения которой являются неотъемлемой частью славной истории атомной отрасли страны.

Вашему вниманию предлагается семнадцатое официальное издание публичного Годового отчёта ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» с основными результатами деятельности института в 2020 году.

Несмотря на сложности, связанные с необходимостью противодействия новой коронавирусной инфекции, в 2020 году коллективом ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» выполнен весь запланированный объём работ по реконструкции стендовой базы предприятия, подготовке, обеспечению и проведению испытаний и исследований на экспериментальных стендах института, созданию тренажёрных и обучающих систем, теплофизическим, нейтронно-физическим, химико-технологическим исследованиям и разработкам, по обоснованию и обеспечению безопасности действующих и строящихся объектов использования атомной энергии как в Российской Федерации, так и за её пределами.

В соответствии с комплексным графиком продолжались работы по реконструкции стенда КМ-1 для испытаний перспективных транспортных ЯЭУ с тяжёлым жидкометаллическим теплоносителем (ТЖМТ), велась разработка технического проекта ЯЭУ, осуществлялось научное руководство работами. В 2020 году завершена разработка специальной версии системного расчётного кода КОРСАР/ЖМТ, позволяющая осуществлять численное моделирование динамики проектных и запроектных аварий с течами теплоносителя из второго контура в первый для реакторных установок с ТЖМТ. Начаты работы по валидации специализированной версии расчётного кода КОРСАР/ЖМТ на основе доступных экспериментальных данных.

Велись работы по выводу из эксплуатации ЯЭУ стенда КВ-2. Готовилась документация, необходимая для транспортировки оборудования парогенерирующего блока в пункт длительного хранения реакторных отсеков, проводилась корректировка программы и концепции вывода из эксплуатации ЯЭУ стенда КВ-2.

После завершения в 2019 году испытаний и исследований на полномасштабном стенде-прототипе КВ-1 начаты работы по выгрузке и внереакторной дефектации ОТВС активной зоны реактора. В течение года в бассейны выдержки в здании стенда произведена выгрузка большей части ОТВС. Активно велись работы по подготовке стенда КВ-1 к выводу из эксплуатации.

Выполнен комплекс работ по радиационному и дозиметрическому контролю ЯЭУ и радиационных источников института на всех этапах их жизненного цикла, по методическому и метрологическому обеспечению радиационного контроля, проведению научно-исследовательских работ в соответствии с принятыми программами. Велась разработка автоматизированных систем радиационного контроля (АСРК) для вновь создаваемых объектов института.

Благодаря длительной успешной работе института с УП «Атомтех» республики Беларусь, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» делегирована функция комплектного поставщика поверочных установок гамма- и нейтронного излучения производства УП «Атомтех» на территории Российской Федерации. В 2020 году в АО «ИРМ» специалистами НИТИ осуществлена поставка «под ключ» эталонной дозиметрической установки гамма-излучения УДГ-АТ110 производства УП «Атомтех».

В течение года специалистами института продолжены создание, модернизация, сопровождение и обслуживание измерительно-вычислительных комплексов автоматизации натурных экспериментов и расчётно-аналитическое сопровождение испытаний стендовых ЯЭУ. Проводилась разработка тренажёров и расчётно-моделирующих комплексов (РМК) для исследования динамики ЯЭУ. Активно велись работы с внешними заказчиками:

- созданный для АО ЦКБ МТ «Рубин» функциональный комплекс моделирования энергетической установки успешно прошел испытания на территории заказчика и включен в программный комплекс моделирования функционирования изделия;
- изготовлены и поставлены для блоков АЭС «Руппур» (Бангладеш) и «Аккую» (Турция) комплекты аппаратуры систем технического диагностирования главных циркуляционных насосов (ГЦН);
- в АО «Атомэнергопроект» установлен многофункциональный редактор видеоклипов (МФР) и передана неисключительная лицензия на его использование, оказаны услуги по технической поддержке МФР;
- для Ленинградской АЭС продолжено сопровождение комплекса программно-технических средств информационно-управляющей сети общетехнологических систем здания и локальной измерительной системы комплекса по переработке радиоактивных отходов;
- обеспечено авторское сопровождение эксплуатации программно-техническим комплексом (ПТК) АСРК двух энергоблоков Белоярской АЭС, завершена разработка технического проекта ПТК верхнего уровня АСРК для АЭС ПАКШ-2 (Венгрия).



Велись работы по химико-технологическому и радиохимическому сопровождению проводимых институтом комплексных испытаний и обеспечению вывода из эксплуатации стендовых ЯЭУ. Выполнена разработка технической документации для создания дожигателя водорода, увлажнителя защитного газа и системы автоматизированного химического контроля газовых сред стенда КМ-1.

В рамках экологической политики предприятия выполнен большой объём работ по проведению экологического мониторинга объектов природной среды в районе расположения ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». Применяемый в НИТИ радиэкологический комплекс автоматизированных и лабораторных методов и средств измерений позволяет оперативно и/или детально проводить мониторинговые наблюдения за изменением радиационного состояния природной среды, включая оценку глобального уровня загрязнения, для ранней диагностики отклонений от нормальной работы стендовых установок института.

Значительным достижением в области создания аппаратуры контроля плотности потока нейтронов для ЯЭУ стало завершение в 2020 году разработки широкодиапазонного линейного импульсно-токового измерителя сигнала с детекторов нейтронов «Фаворит» со специализированным программным обеспечением. По результатам проведенных испытаний детектор нейтронов «Фаворит» внесен в государственный реестр средств измерений.



Учёными и специалистами института велась работа по совершенствованию разработанных в НИТИ расчётных кодов для моделирования нейтронно-физических и теплогидравлических процессов в оборудовании ЯЭУ различного типа и назначения. Проводилось развитие комплекса программ САПФИР_95&RC_ВВЭР для подготовки расчётных моделей и выполнения проектных стационарных нейтронно-физических расчётов активных зон ВВЭР, а также для расчётов характеристик реакторов с жидкометаллическим теплоносителем. Велась подготовка верификационных материалов для переоформления аттестационного паспорта базовой версии системного расчётного кода КОРСАР/ГП с целью расширения области применения кода для условий АЭС с ВВЭР нового поколения. Продолжались работы по развитию, верификации и валидации новой базовой версии расчётного кода КОРСАР/3D в части обоснования моделей CFD-модуля, являющегося важнейшей составной частью функционального наполнения расчётного кода КОРСАР/3D. Велась работа по адаптации в составе расчётного кода программы расчёта термомеханики твэлов «РАПТА 5.2» для решения задачи численного моделирования нестационарных нейтронно-физических, теплогидравлических и термомеханических процессов в водо-водяных реакторах в сопряженной постановке. Результаты выполненных работ по развитию расчётных кодов позволяют расширять номенклатуру и уточнять погрешности рассчитываемых характеристик.

Проводилось развитие локальной экспериментальной базы для теплофизических исследований процессов, протекающих в оборудовании ЯЭУ. Велась работа по созданию стенда «КОРВЕТ-2» для исследований кризиса кипения на наружных поверхностях корпуса реактора и ловушки расплава при тяжелых авариях ВВЭР. Проводились экспериментальные исследования:

- на стенде «Д-1» с целью изучения процессов критического истечения двухфазных смесей из сосудов под давлением в случае их разгерметизации и воздействия струй истекающего теплоносителя на элементы оборудования;
- на стенде «ВХГР» для отработки каталитических рекомбинаторов водорода.

На установках экспериментального комплекса «Расплав» продолжено исследование процессов, протекающих на различных стадиях тяжёлых аварий на АЭС. Выполнены работы по изготовлению и пост-тест анализу образцов кориума прототипных внекорпусной стадии аварии на АЭС «Фукусима-1». Проведены работы по исследованию процессов, протекающих в условиях гипотетических запроектных аварий на перспективной реакторной установке БРЕСТ-ОД-300. Получены новые экспериментальные данные, актуальные для создания моделей и верификации кодов, моделирующих тяжёлые аварии на установках данного типа.

В рамках работ, выполняемых Госкорпорацией «Росатом» по проектированию зарубежных АЭС, специалистами института разработаны Программы проектирования с учётом человеческого фактора для энергоблоков АЭС Сюйдапу и энергоблоков Тяньваньской АЭС в Китае, разработаны и переданы заказчику документы для формирования пакета лицензионных документов указанных проектируемых энергоблоков.

В рамках работ по функциональному проектированию АЭС «Ханхикиви-1» (Финляндия) разработана методика сбора, анализа и применения опыта эксплуатации АЭС в части человеческого фактора. При проведении анализа опыта эксплуатации охарактеризованы проблемы

учёта человеческого фактора, выявленные в предыдущих проектах АЭС и в других отраслях промышленности, использующих современные цифровые технологии человеко-машинного интерфейса. Выполнен предварительный функциональный анализ АЭС «Ханхикиви-1» на стадии первого технического проекта АЭС. В рамках работ по функциональному проектированию АЭС «Пакш II» (Венгрия) выполнены анализ и обоснование учёта человеческого фактора. Проведена актуализация функционального анализа АЭС «Пакш II» и АЭС «Эль-Дабаа» (Египет).

В 2020 году опубликованы четыре выпуска научно-технического сборника «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок» со статьями по актуальной тематике, подготовленными учёными НИТИ и авторами из других организаций. Подготовлен и опубликован очередной выпуск ежегодного отчёта по экологической безопасности с информацией об эксплуатации объектов АСКРО и результатами оценки радиологической обстановки в зоне воздействия ЯЭУ НИТИ и других предприятий атомной отрасли, расположенных в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения НИТИ.

В 2020 году средняя численность работников института составила 2137 человек, на работу принято 56 человек (рабочих, специалистов, учёных).

Говоря об общественной жизни института, следует отметить активную творческую работу молодёжи под руководством молодёжной комиссии при профсоюзном комитете.

За добросовестный труд и вклад в развитие отрасли в 2020 году 116 работников института получили правительственные награды и награды Госкорпорации «Росатом», 20 работникам присвоено звание «Ветеран атомной энергетики и промышленности». Знаком отличия в труде «Ветеран НИТИ им. А.П. Александрова» награждено 14 работников института.

Экономическое состояние Института в 2020 году оставалось стабильным. Основной объём выручки приходился на выполнение НИОКР по госконтрактам.

Коллектив института постоянно расширяет и укрепляет свои научные и производственные контакты с научными и конструкторскими организациями России, открыт к сотрудничеству с новыми партнёрами в различных отраслях научно-технической деятельности и производства.

*Генеральный директор
ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»
В.А. Василенко*





НИТИ
РОСАТОМ

Федеральное государственное унитарное предприятие

Научно-исследовательский технологический институт им. А.П. Александрова

Направления деятельности:

- крупнейший центр по комплексной отработке ядерных энергетических установок на натуральных стендах-прототипах;
- создание расчётных и моделирующих комплексов;
- системы автоматизации эксперимента и технологии программирования;
- создание тренажёров;
- разработка химических технологий обращения с ЖРО;
- системы радиационного и химического контроля;
- системы управления объектами атомной энергетики;
- проектирование человеко-машинных интерфейсов пунктов управления АЭС в части управления системами безопасности и системами нормальной эксплуатации;
- исследование тяжёлых аварий на АЭС.

1



1. Общие сведения

1.1 Административная структура



1.2 Основные научно-технические подразделения

ДИРЕКЦИЯ

Отделение комплекс экспериментальных энергетических реакторов

- Комплексные испытания, отработка ЯЭУ и основного оборудования.
- Модернизация и совершенствование технологических схем оборудования ЯЭУ на стендах-прототипах.
- Ремонт оборудования.

Отделение испытательный комплекс атомных реакторов

- Расчётно-экспериментальные исследования динамических характеристик ЯЭУ.
- Обоснование безопасности испытаний.

Отделение динамических исследований

- Разработка и внедрение: систем технической диагностики, тренажёров и моделирующих комплексов; систем автоматизации натурального эксперимента; системного и прикладного математического обеспечения; систем автоматизации расчётных и проектных работ.
- Производство электронных компонентов систем автоматизации и контроля.

Отдел химико-технологических исследований

- Разработка химических технологий обеспечения жизненного цикла транспортных ЯЭУ.
- Совершенствование водно-химических режимов ЯЭУ транспортного назначения.
- Разработка технологий обращения с радиоактивными отходами.
- Разработка систем и средств автоматизации химического, радиохимического и радиационного контроля для объектов ВМФ и АЭС.
- Радиоэкологический и химический мониторинг в зоне воздействия объектов ЯЭУ на окружающую среду.
- Разработка и совершенствование средств обнаружения взрывчатых веществ для обеспечения физической защиты особо важных объектов.

Отдел нейтронно-физических исследований

- Расчётно-экспериментальные исследования нейтронно-физических характеристик ядерных реакторов.
- Аппаратура физического контроля, управления и диагностики.
- Разработка расчётных программ.

Отдел теплофизических исследований

- Расчётно-экспериментальное обоснование безопасности и теплотехнической надёжности АЭС.
- Исследования теплофизических характеристик ЯЭУ различного типа.
- Разработка расчётных программ.

Отдел исследований тяжёлых аварий

- Анализ тяжёлых аварий.
- Экспериментальные исследования на стендах платформы «РАСПЛАВ».

Отдел метрологических исследований (метрологическая служба)

- Метрология и поверка средств измерений.
- Первичные измерительные преобразователи.
- Системы экспериментальных измерений.

Отдел главного конструктора АСУ ТП

- Автоматизированные системы контроля и управления для АЭС.
- Информационно-измерительные системы для исследовательских стендов атомной и тепловой энергетики.
- Проектирование компьютеризированных пунктов управления и контроля АЭС, разработка человеко-машинного интерфейса операторов АЭС.
- Автоматизированные системы управления для объектов тепловой энергетики.

Конструкторский отдел

- Проектирование оборудования объектов атомной энергетики.
- Проектирование технологического оборудования.

Отдел радиационной безопасности

- Дозиметрический и технологический контроль.
- Радиоэкологический контроль.
- Разработка автоматизированных систем радиационного контроля.
- Разработка комплексов для поверки дозиметрических приборов.

Отдел по надзору за ядерной, радиационной и промышленной безопасностью

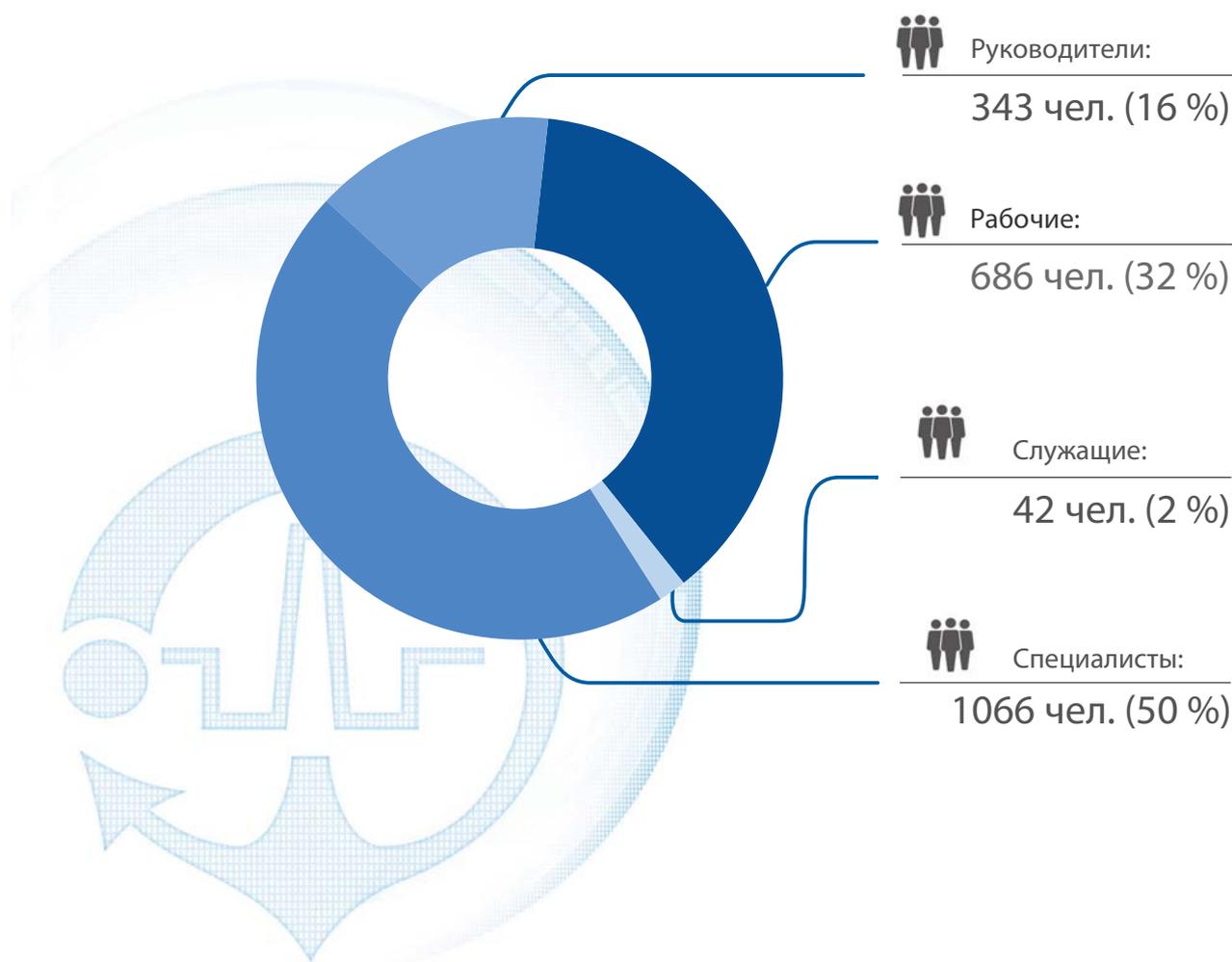
- Ядерная безопасность.
- Техническая безопасность.
- Учёт и контроль ядерных материалов и радиоактивных веществ.

Отдел управления качеством

- Обеспечение соответствия системы менеджмента качества установленным требованиям.
- Организация и обеспечение проведения оценки соответствия продукции установленным требованиям.
- Организация работ по внедрению и развитию Производственной системы «Росатом» в подразделениях института.

1.3 Управление персоналом

Кадровый состав института



В институте работают
11 докторов наук и
40 кандидатов наук

ЦЕННОСТИ РОСАТОМА

Соблюдение **Ценностей** каждым сотрудником Росатома является основой культуры успеха



РОСАТОМ

Эффективность

Мы всегда находим наилучшие варианты решения задач. Мы эффективны во всем, что мы делаем – при выполнении поставленных целей мы максимально рационально используем ресурсы компании и постоянно совершенствуем рабочие процессы. Нет препятствий, которые могут помешать нам находить самые эффективные решения.

На шаг вперед

Мы стремимся быть лидером на глобальных рынках. Мы всегда на шаг вперед в технологиях, знаниях и качествах наших сотрудников. Мы предвидим, что будет завтра, и готовы к этому сегодня. Мы постоянно развиваемся и учимся. Каждый день мы стараемся работать лучше, чем вчера.

Безопасность

Безопасность – наивысший приоритет.

В нашей работе мы в первую очередь обеспечиваем полную безопасность людей и окружающей среды. В безопасности нет мелочей – мы знаем правила безопасности и выполняем их, пресекая нарушения.

Ответственность за результат

Каждый из нас несет личную ответственность за результат своей работы и качество своего труда перед государством, отраслью, коллегами и заказчиками. В работе мы предъявляем к себе самые высокие требования. Оцениваются не затраченные усилия, а достигнутый результат. Успешный результат – основа для наших новых достижений.

Уважение

Мы с уважением относимся к нашим заказчикам, партнерам и поставщикам.

Мы всегда внимательно слушаем и слышим друг друга вне зависимости от занимаемых должностей и места работы. Мы уважаем историю и традиции отрасли. Достижения прошлого вдохновляют нас на новые победы.

Единая команда

Мы все – Росатом. У нас общие цели. Работа в команде единомышленников позволяет достигать уникальных результатов. Вместе мы сильнее и можем добиваться самых высоких целей. Успехи сотрудников – успехи компании.



2



2. Исследования и испытания на стендах-прототипах транспортных ЯЭУ

2.1 Работы и исследования, проводимые на стенде КВ-1

Д.И. Тригубов, С.А. Михайличенко, И.В. Ушатинский,
Е.С. Каракашьян, И.Р. Закиров

В первом квартале 2020 года был успешно завершен комплекс работ по подготовке к выгрузке и дефектации ОТВС активной зоны реактора. В ходе подготовки к выгрузке и дефектации ОТВС были выполнены следующие работы:

- в полном объеме разработана проектная, конструкторская, технологическая и организационная документация в обеспечение выгрузки и дефектации ОТВС активной зоны;
- произведена подготовка систем и оборудования стенда КВ-1, а также технических средств к проведению выгрузки и дефектации ОТВС;
- проведено обучение персонала, включая теоретическую подготовку и практическую отработку действий при проведении работ, назначены ответственные лица.

С целью определения состояния (негерметичности) оболочек твэлов, СВП и ПИН всех ОТВС активной зоны стенда КВ-1 в течение 2020 года выполнена дефектация значительной части ОТВС.

Для экспериментальной оценки плотности продуктов деления в ОТВС активной зоны стенда КВ-1, а также с целью верификации аттестованных расчётных кодов КП САПФИР_ВВР95&RC были проведены следующие работы:

- разработана программа-методика гамма-сканирования ОТВС после завершения кампании испытаний на стенде КВ-1;
- разработана конструкторская документация на «Систему гамма-сканирования ОТВС»;
- выполнена доработка и дооснащение стенда дефектации системой гамма-сканирования;
- проведено пробное гамма-сканирование ОТВС.

На рисунках 1 и 2 представлено устройство гамма-сканирования ОТВС.

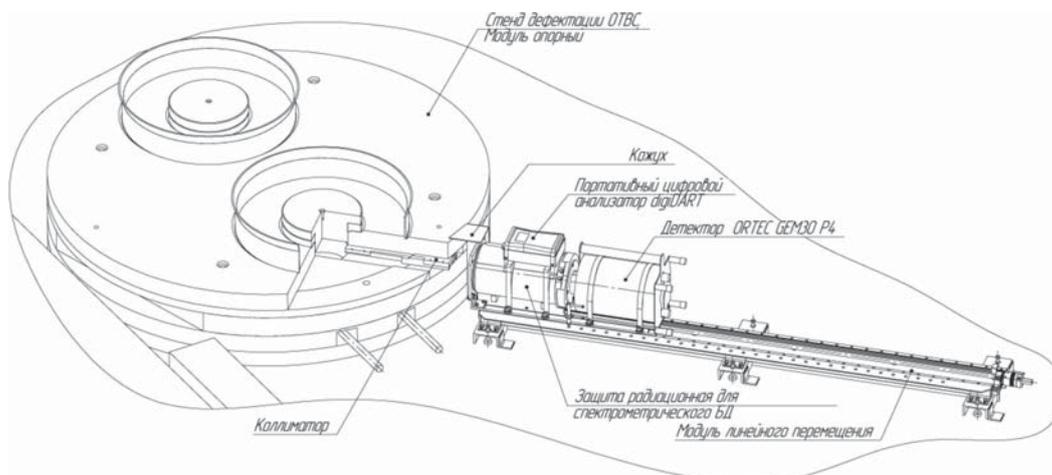


Рисунок 1 – Устройство гамма-сканирования

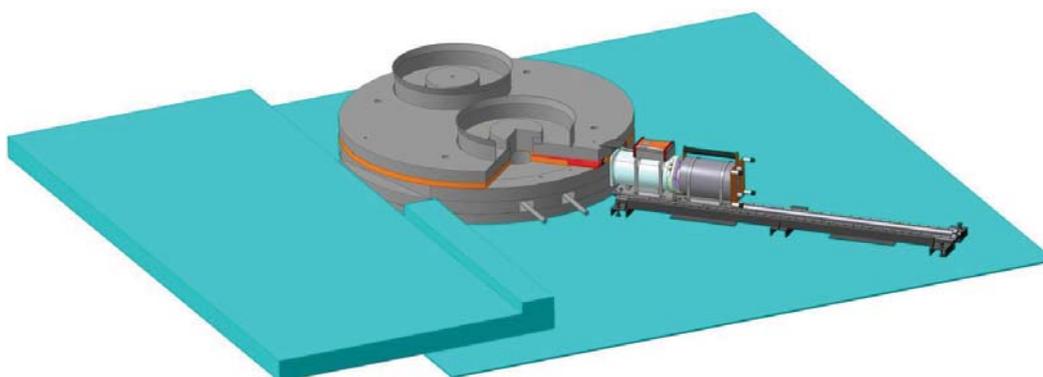


Рисунок 2 – 3D-модель устройства гамма-сканирования

С целью исследования причин отказов, повышения надёжности и ресурса основного оборудования ППУ в 2020 году были проведены работы по исследованию оборудования стенда КВ-1, в том числе:

- работы по поиску неплотных секций трубных систем ПГ-2, ПГ-3;
- работы по исследованию привода КГ и ИМ АЗ.

Поиск неплотных секций трубной системы ПГ-2 заключался в:

- визуальном обнаружении неплотной кассеты по изменению уровня жидкости в индикаторах уровня при подъёме давления в первом контуре;
- определении неплотной кассеты по результатам отбора проб воды из каждой кассеты на радиометрический анализ.

Поиск неплотных секций трубной системы ПГ-3 заключался в визуальном обнаружении течи воды из трубок паровых коллекторов при подъёме давления в первом контуре.

Также, для определения места течи паровых коллекторов ПГ-3 выполнялась капиллярная дефектоскопия трубных досок всех паровых коллекторов.

Работы по исследованию привода КГ и ИМ АЗ проводились с целью определения

фактического состояния деталей сборочных единиц для выявления «слабых» элементов, лимитирующих надёжность ИМ и приводов в условиях действующей реакторной установки и исключения, доработки или замены этих элементов при эксплуатации механизмов-аналогов, а также при дальнейшем проектировании механизмов СУЗ. По результатам работ определено состояние деталей сборочных единиц ИМ СУЗ, выявлены дефекты некоторых узлов и деталей.

После остановки стенда КВ-1 и снятия давления с первого контура и его разгерметизации наблюдалось постепенное ухудшение качества теплоносителя, несмотря на то, что водно-химический режим поддерживался в соответствии с требованиями действующего ОСТ В 95Р.823-08. Наиболее заметными показателями ухудшения качества теплоносителя являлись:

- рост содержания хлорид-ионов до 0,06 мг/кг;
- снижение показателя рН относительно концентрации аммиака в теплоносителе.

Менее значимыми являлись рост количества солевых форм аммония, нитрат- и сульфат-ионов. Причиной ухудшения качества теплоносителя являлся контакт теплоносителя первого контура с атмосферой и технологическим оборудованием, используемым при выгрузке ОТВС. Для корректировки качества теплоносителя требовалась либо очистка теплоносителя на ионообменных фильтрах, либо замена теплоносителя. Так как очистка теплоносителя первого контура штатными средствами (принудительной циркуляцией теплоносителя насосами ЦНР № 1, 2 через ФИО БОиР № 1, 2) при снятом давлении в системе первого контура не обеспечивалась было принято решение об организации нештатной системы очистки теплоносителя первого контура при снятом давлении с ПГБ.

Для очистки теплоносителя первого контура было решено использовать фильтр БОиР № 2 с организацией циркуляции теплоносителя нештатным насосным блоком, как показано на рисунке 3.

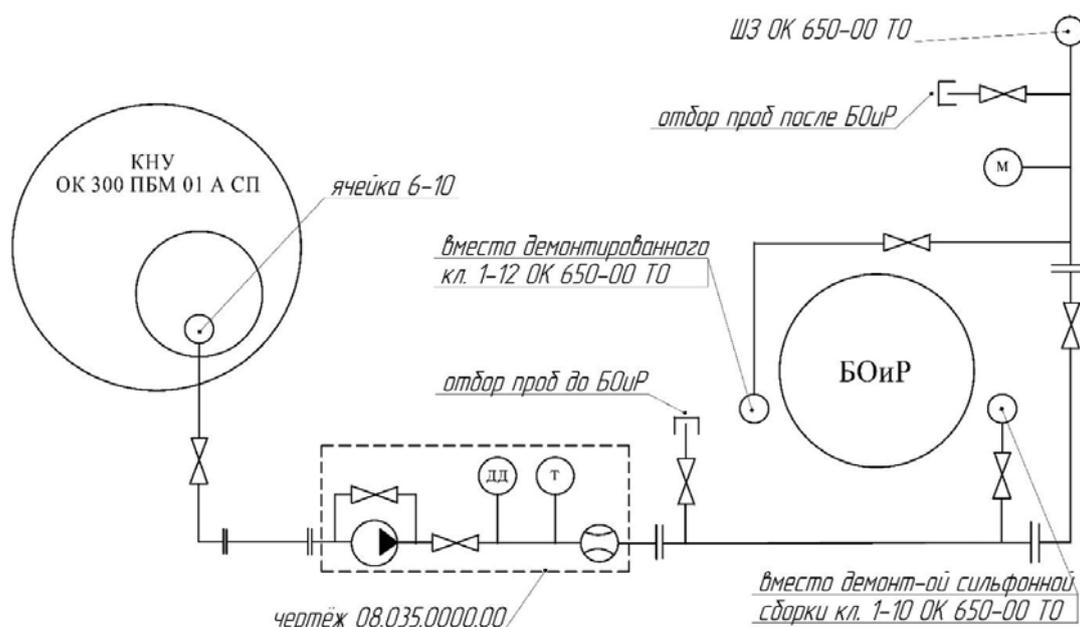


Рисунок 3 – Схема нештатной очистки теплоносителя первого контура

2.2 Работы, проводимые на стенде КВ-2

В.Ю. Соколов, В.И. Грачев

2.2.1 Эксплуатация систем стенда КВ-2

В 2020 году паропроизводящая установка (ППУ) стенда КВ-2 эксплуатировалась согласно установленному режиму хранения парогенерирующего блока (ПГБ) и использования систем ЯЭУ стенда КВ-2 в соответствии с техническим решением «О режиме хранения ПГБ и использования систем стенда КВ-2 в период подготовки к выводу из эксплуатации».

Исправное состояние систем стенда КВ-2 поддерживалось проведением технического обслуживания оборудования и систем стенда КВ-2 в сроки и по регламентам, предусмотренным действующей документацией, плановых и планово-предупредительных ремонтов и осмотров в соответствии с ежеквартальными графиками.

2.2.2 Вывод из эксплуатации ЯЭУ стенда КВ-2

В соответствии с условиями договора с Госкорпорацией «Росатом» по теме «Проведение подготовительных мероприятий и частичного демонтажа оборудования и систем здания стенда по проекту ВЭ ЯЭУ КВ-2» по этапу 2 персоналом института выполнены следующие работы:

- закуплены необходимые материалы и оборудование в обеспечение работ, в том числе, промышленные самоспасатели, контейнеры, средства дезактивации и др.;
- для обеспечения безопасной эвакуации персонала в случае возникновения пожара в помещениях здания стенда сняты выполненные из горючих материалов пластикатовое покрытие полов и демонтированы подшивные потолки на путях эвакуации оборудования;
- выполнены работы по монтажу и пусконаладке электрооборудования систем освещения и электроснабжения демонтажных участков;
- демонтировано оборудование ПКУ вместе с корпусом отсека;
- установлены огнезадерживающие клапаны на системах вентиляции;
- изготовлены и установлены кабины для резки фрагментированного оборудования;
- организованы транспортные схемы для безопасного обращения с чистыми отходами;
- оборудован участок паспортизации, дозиметрического и радиационного контроля;
- демонтирована часть воздуховодов, поддонов крышных вентиляторов с установкой заглушек;
- выполнены работы по монтажу воздуховодов системы вентиляции в помещениях здания.

- выполнены работы по устройству наливного покрытия полов на путях эвакуации персонала;
- разработан технический проект оборудования для демонтажа и обращения с ПГБ при формировании транспортной упаковки;
- разработан отчёт по обоснованию безопасности демонтажа и обращения с ПГБ при формировании транспортной упаковки в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»;
- разработан технологический регламент демонтажа и обращения с ПГБ при формировании транспортной упаковки;
- разработан технологический регламент обращения с транспортной упаковкой с ПГБ в ПДХ РО в губе Сайда;
- разработаны технические условия на транспортную упаковку с ПГБ;
- разработаны изменения в проектную документацию ВЭ ЯЭУ стенда КВ-2, оформлено техническое задание на корректировку ПД и задание на проектирование по теме «Вывод из эксплуатации ЯЭУ стенда КВ-2»;
- произведена корректировка ПД и ООБ ВЭ ЯЭУ стенда КВ-2;
- выполнена корректировка программы и концепции вывода из эксплуатации ЯЭУ стенда КВ-2.

2.3 Работы по реконструкции стенда КМ-1

В.Ю. Соколов, М.Ю. Иорданский, О.Г. Трифионов

2.3.1 Реконструкция стенда КМ-1 для испытаний транспортной ЯЭУ

В 2020 году выполнены работы по комплексному графику строительства объекта «Реконструкция стенда КМ-1»:

- СПб филиал АО «ФЦНИВТ «СНПО «Элерон»-«ВНИПИЭТ» разработал пакет рабочей документации;
- подрядчик строительных работ ОП «Сосновый Бор» АО «ФЦНИВТ «СНПО «Элерон» выполнил:
 - монтажные и пусконаладочные работы в здании стенда;
 - монтаж в блоках А, В здания стенда инженерных сетей, возведение новых стен, перегородок и усиление существующих строительных конструкций;

2. Исследования и испытания на стендах-прототипах транспортных ЯЭУ

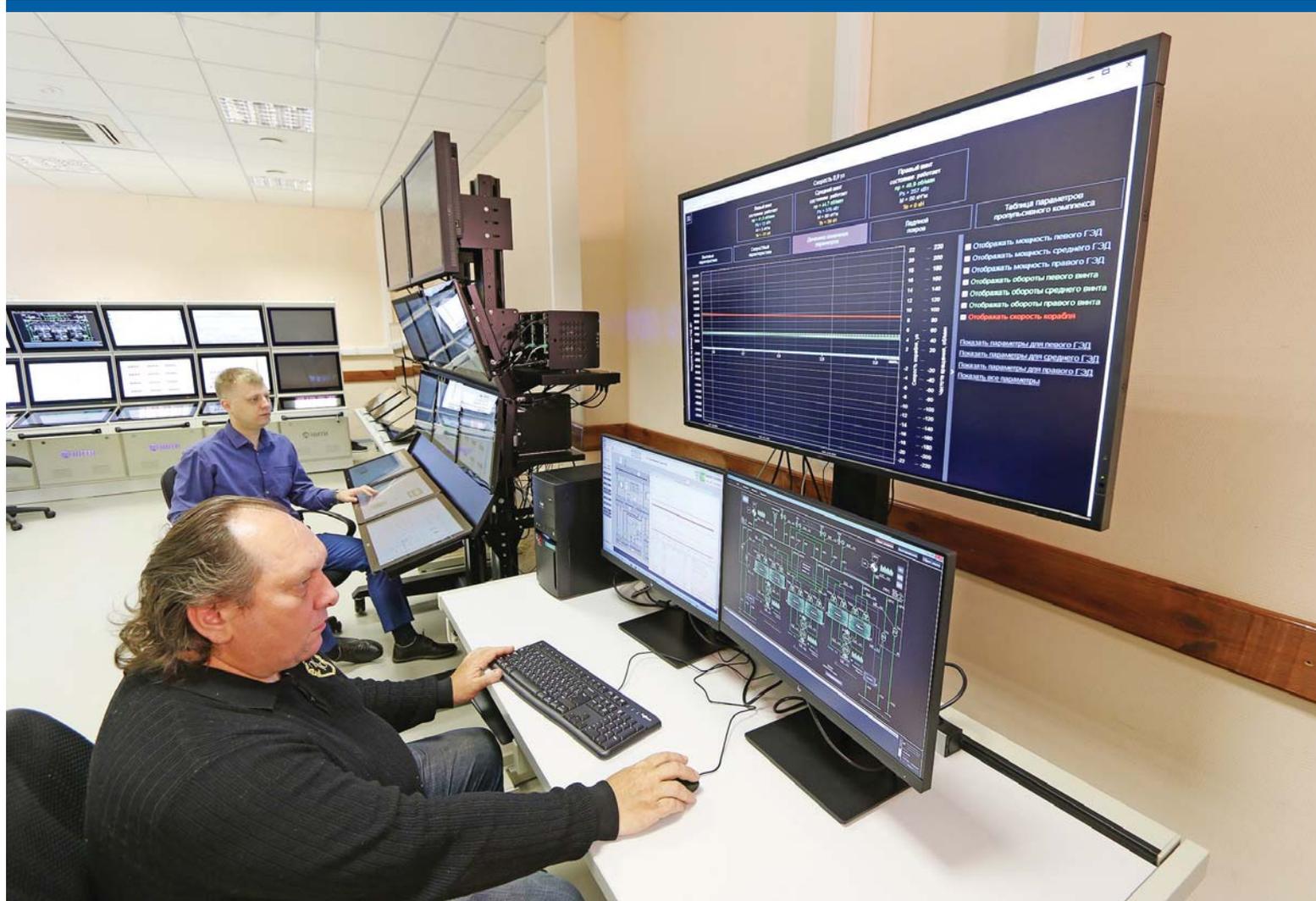
- монтаж железобетонных и металлических конструкций блока А здания стенда до отм. +28,000;
- наружную отделку блоков А, В здания стенда;
- внутреннюю отделку помещений блоков А, Б, В здания стенда;
- монтаж в блоках А, Б, В здания стенда оборудования систем стенда КМ-1.

Специалистами ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» выполнено:

- рассмотрение и согласование рабочей документации по реконструкции стенда КМ-1;
- подготовлены технические части заявок на закупку оборудования для реконструкции стенда;
- проведена на предприятиях-изготовителях оборудования оценка соответствия оборудования систем важных для безопасности, изготавливаемого для стенда КМ-1 в соответствии с НП-071-18 «Правила оценки соответствия продукции, для которой устанавливаются требования, связанные с обеспечением безопасности в области использования атомной энергии, а также процессов её проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации, утилизации и захоронения»;
- выполнен входной контроль поступающего оборудования;
- разработаны программы проведения пусконаладочных работ оборудования стенда;
- подготовлены программы комплексного опробования систем.

Также в 2020 году в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» совместно с предприятиями-участниками продолжили разработку технического проекта транспортной ЯЭУ для реконструируемого стенда КМ-1.

3



3. Динамические исследования, создание тренажёров

3.1 Работы отделения динамических исследований в 2020 году

С.П. Витин

Тематика работ Отделения Динамических Исследований (ОДИ) определяется широким спектром актуальных задач, поставленных перед отделением руководством института.

Традиционно главными направлениями работ ОДИ являются:

- расчётно-аналитическое сопровождение испытаний стендовых ЯЭУ и анализ полученной экспериментальной информации;
- создание, модернизация, сопровождение и обслуживание измерительно-вычислительных комплексов автоматизации натуральных экспериментов;
- разработка и сопровождение систем управления ЯЭУ и техническими средствами стендов, систем радиационного контроля;
- разработка тренажёров и расчётно-моделирующих комплексов (РМК) для исследования динамики ЯЭУ.

В 2020 году в отделении выполнены следующие наиболее значимые работы.

Завершено создание расчётно-моделирующего комплекса стенда, включающего взаимосвязанные математические и информационные модели ЯЭУ и систем стендового комплекса «Каскад». Выполнен комплекс расчётных и экспериментальных работ (на локальных стендах) в обеспечение безопасности и реализуемости планируемых испытаний.

Проведены монтаж и наладка систем сбора данных для ввода сигналов от испытываемых изделий, комплексная отладка работы ИВК «АНИС-ВЗ» с новыми изделиями и обеспечения регистрации и обработка экспериментальной информации ИВК «АНИС-ВЗ» при проведении испытаний.

Завершен выпуск полного комплекта программной документации ИВК «АНИС-ВЗ» в соответствии с ЕСПД.

В части сопровождения и развития системы управления техническими средствами

стендового комплекса (СУ ТС СК), автоматизированной системы радиационного контроля (АСРК) и автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО):

- модернизирована вычислительная сеть СУ ТС СК: реализовано дублированное кольцо Ethernet;
- обеспечена бесперебойная работа СУ ТС СК в течение года;
- завершена корректировка конструкторской и эксплуатационной документации, выполнена комплексная наладка технических средств и программного обеспечения (ПО) на полигонном комплексе в рамках модернизации СУ ТС СК;
- модернизирован программно-технический комплекс (ПТК) верхнего уровня (ВУ) автоматизированной системы радиационного контроля (АСРК) стендового комплекса;
- создано автоматизированное рабочее место (АРМ) АСКРО для дежурного по институту.

Разработана первая версия ПО и эксплуатационной документации для системы (базы данных) «Метролог».

Выпущены заключительные отчеты по созданию, модернизации и эксплуатации ИВК АНИС-ВЗ; СУ ТС СК, ПТК ВУ АСРК и АСКРО.

В рамках проводимых в ОДИ работ по импортозамещению и повышению информационной безопасности работ осуществлён перевод серверной части ПК ТЕРМИТ в защищённую операционную систему ОС ASTRA Linux Special Edition, в том числе системного ПО и функционального ПО для пакетов прикладных программ АРТЕК, ПРАГИС, SELEN, АКУЛА.

Совместно со специализированным подразделением завершены создание, аттестация и ввод в эксплуатацию объекта информатизации (ОИ) «Спарта-К», на программно-аппаратных средствах которого реализованы многофункциональные РМК. Объект информатизации «Спарта-К» является единственным в Российской Федерации программно-аппаратным комплексом, позволяющим решать задачи в сетевом варианте.

Завершены разработка и изготовление, проведены испытания мобильного управляющего комплекса (МУК) на двух разных аппаратно-программных платформах и успешно проведены его приёмочные испытания на полигоне Главного конструктора.

Разработана первая очередь РМК опытного образца энергоблока ЯЭУ в составе наземного испытательного комплекса «РЕСУРС» (РМК ИК «Ресурс»), который обеспечивает совместное моделирование штатных и аварийных режимов работы технологических систем ИК «РЕСУРС» и комплекса защитных камер (КЗК). Данный РМК успешно апробирован при отработке с использованием МУК «Программы... комплексного опробования» технологических систем КЗК.

По договорам с внешними заказчиками выполнены следующие работы:

- созданный по договору с АО ЦКБ МТ «Рубин» функциональный комплекс моделирования энергетической установки успешно прошел испытания на территории заказчика и включен в программный комплекс моделирования функционирующего изделия;
- по договору с АО «ЦКБМ» изготовлены и поставлены два комплекта аппаратуры систем технического диагностирования ГЦН для блоков АЭС «Руппур» (Бангладеш) и «Аккую» (Турция);

- по договору с АО «Атомэнергопроект» заказчику установлен многофункциональный редактор видеокадров (МФР) и передана неисключительная лицензия на его использование;
- по договору с АО «Атомтехэнерго» оказаны услуги по технической поддержке МФР, переданного туда в 2019 году;
- по договору с Ленинградской АЭС продолжено сопровождение комплекса программно-технических средств (ПТС) информационно-управляющей сети общетехнологических систем здания 672Р и локальной измерительной системы комплекса по переработке радиоактивных отходов;
- по договору с Белоярской АЭС обеспечено авторское сопровождение эксплуатации ПТК АСРК двух энергоблоков;
- по договору с АО «Атомэнергопроект» завершена разработка технического проекта ПТК верхнего уровня АСРК для АЭС ПАКШ-2 (Венгрия).

Ниже представлены материалы с более подробным описанием некоторых из работ, выполненных 2020 году в отделении динамических исследований.

3.2 Основные проектные решения при разработке программно-технического комплекса верхнего уровня автоматизированной системы радиационного контроля стенда КМ-1

С.В. Батраков, В.Л. Деменик, Д.М. Денищенко, М.А. Ельшин,
В.Д. Жуков, В.В. Зарубин, А.В. Зуйков, А.Ф. Коршунов,
В.П. Черных, В.А. Шинкаренко

В период с 2020 по 2021 годы отделением динамических исследований разработан технический проект программно-технического комплекса верхнего уровня автоматизированной системы радиационного контроля (АСРК) стенда КМ-1 (ПТК ВУ АСРК КМ1).

ПТК ВУ АСРК КМ-1 предназначен для автоматизации контроля радиационной обстановки и решения задач по обеспечению радиационной безопасности стенда КМ-1 с ядерной энергетической установкой (ЯЭУ) и комплекса технологических систем, обеспечивающих её работу.

Назначение АСРК стенда КМ-1, составной частью которой является ПТК ВУ АСРК КМ-1, – это автоматизация процессов получения, контроля, регистрации, обработки и представления следующей информации радиационного контроля (РК):

- радиационных параметров, характеризующих радиационное состояние ЯЭУ и технологических систем стенда;
- радиационных параметров, характеризующих радиационную обстановку в зоне контролируемого доступа (ЗКД);
- дозы облучения персонала, обслуживающего стенд, включая командированный персонал;

- данных по радиоактивному загрязнению оборудования, помещений стенда и персонала, обслуживающего стенд;
- паспортизации и контроля жидких и твердых радиоактивных отходов (РАО) стенда КМ-1;
- данных по радиационной обстановке окружающей среды в пределах санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения.

АСРК стенда КМ-1 обеспечивает:

- получение информации, подтверждающей, что стенд находится в пределах безопасной эксплуатации;
- раннее обнаружение отклонения работы стенда от условий нормальной эксплуатации и передачу информации об этом на центральный щит радиационного контроля (ЦЩРК), резервный щит радиационного контроля (РЩРК), в систему управления ЯЭУ;
- выдачу сигналов о превышении значений контролируемых радиационных параметров, характеризующих выход стенда за пределы безопасной эксплуатации, и получение информации о радиационной обстановке, определяющей масштаб аварии, для введения в действие «Плана мероприятий по защите персонала и населения в случае радиационной аварии», а также для ведения работ по ликвидации последствий аварии и возвращению стенда в контролируемое состояние;
- представление информации о значении радиационных параметров для оптимальной минимизации достижимого уровня радиационного воздействия стенда на персонал и население;
- повышение эффективности и надежности работы стенда за счет раннего обнаружения дефектного технологического оборудования или нарушения его функционирования;
- обеспечение защиты обрабатываемой и хранимой информации, а также контроля функционирования средств защиты информации.

Решение перечисленных выше задач осуществляется совместными действиями ПТК ВУ АСРК КМ-1 и ПТК ВУ АСРК НИТИ, при этом на ПТК ВУ АСРК КМ-1 в полном объёме возлагаются задачи, которые непосредственно относятся к стенду КМ-1, а общие для НИТИ задачи решаются совместно с ПТК ВУ АСРК НИТИ.

Работа ПТК ВУ АСРК КМ-1 основывается на информации, получаемой от средств СРК КМ-1 и дополнительной информации от внешних систем:

- системы управления ЯЭУ (СУ ЯЭУ);
- системы управления технологическими системами стенда (СУ ТСС);
- автоматизированной системы контроля радиационной обстановки окружающей среды (АСКРО).

В состав ПТК ВУ АСРК КМ-1 входят технические средства (ТС) непрерывного функционирования, обеспечивающие оперативный РК стенда, и ТС эпизодического функционирования, выполняющие задачи, не требующие оперативного решения.

Состав и назначение ТС ПТК ВУ АСРК КМ-1 приведены в таблице.

Состав и назначение ТС ПТК ВУ АСРК КМ1

Технические средства	Функциональное назначение
АРМ сменного инженера по РБ (ЦЩРК). 3 секции	Постоянный вывод и обработка информации о радиационной обстановке на стенде КМ-1
АРМ дежурного дозиметриста (ЦЩРК). 2 секции	Получение информации о радиационной обстановке, ручной ввод информации о радиационной обстановке (РО), оформление нарядов-допусков в части радиационной безопасности (РБ), выдача и приём дозиметров оперативного индивидуального дозиметрического контроля (ИДК)
АРМ сменного инженера по РБ (РЩРК). 2 секции	Дублирование функций АРМ сменного инженера по РБ на ЦЩРК
АРМ оформления нарядов-допусков	Оформление нарядов-допусков лицами, ответственными за выдачу
АРМ ручного ввода информации о радиационной обстановке	Ручной ввод информации о радиационной обстановке, полученной с помощью носимых приборов РК
ССД1, ССД2, ССД3	Станции сбора данных со стационарных приборов РК
СБД1, СБД2	Получение информации о радиационной обстановке в санитарно-защитной зоне (СЗЗ)
Приборный шкаф коммутации	Сетевое оборудование (настенное исполнение)

ТС непрерывного функционирования разрабатываются в промышленном исполнении. В качестве ТС эпизодического функционирования используются компьютеры и специальные устройства (считыватели, комплексы ИДК и др.) офисного исполнения.

На рисунке приведена структурная схема ПТК ВУ АСРК КМ-1.

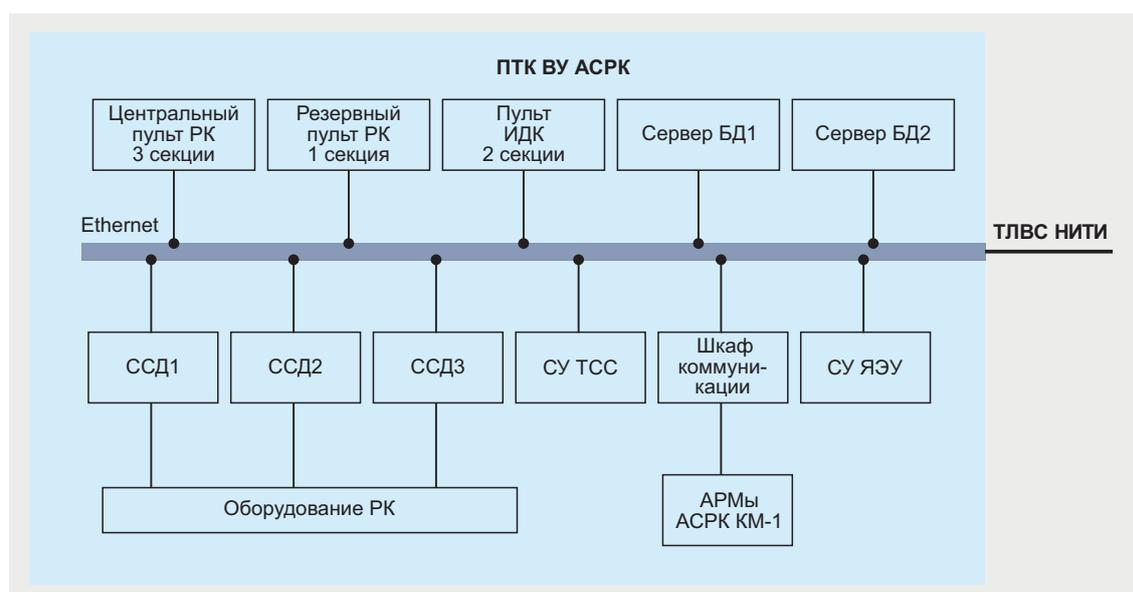


Рисунок – Структурная схема ПТК ВУ АСРК КМ1

ПТК ВУ АСРК КМ-1 представляет собой выделенный фрагмент технологической локальной вычислительной сети НИТИ (ТЛВС НИТИ), построенной на основе активного сетевого оборудования Ethernet кольцевой структуры.

Программное обеспечение ПТК ВУ АСРК КМ-1 состоит из двух частей:

- общего программного обеспечения;
- специального программного обеспечения (СПО).

Общее программное обеспечение содержит:

- операционные системы компьютеров;
- среду исполнения Runtime SCADA пакета Intouch;
- систему управления базами данных Oracle;
- ПО сохранения ПО компьютеров ПТК ВУ АСРК КМ-1 и его восстановления.

СПО включает:

- проекты человеко-машинного интерфейса пультов РК;
- базу данных АСРК КМ-1 с сервисным функциональным обеспечением;
- приложения функциональных АРМ, размещаемых в помещениях стенда;
- модернизированное ПО АРМ АСРК НИТИ, которое реализует соответствующие функции обеспечения РБ стенда КМ-1;
- модернизированную базу данных АСРК НИТИ, расширенную для решения задач АСРК КМ-1.

Технические средства ПТК ВУ АСРК КМ-1 непрерывного функционирования по влиянию на безопасность относятся к элементам класса ЗН по НП-001-15.

В состав ПТК ВУ АСРК КМ-1 непрерывного функционирования входят источники бесперебойного питания (ИБП), обеспечивающие их бесперебойную работу в автономном режиме не менее 10 минут, при перерывах первичного электропитания.

На стадии разработки технического проекта ПТК ВУ АСРК были выполнены следующие работы:

- разработаны технические требования к ПТК ВУ АСРК;
- разработаны решения по структуре ПТК ВУ АСРК и способам связи для информационного обмена между компонентами системы;
- разработаны решения по взаимосвязям ПТК ВУ АСРК со смежными системами, обеспечения его совместимости;
- выполнен локальный сметный расчёт, содержащий сведения о сметной стоимости работ, выполняемых при создании ПТК ВУ АСРК;
- разработаны решения по организационной структуре ПТК ВУ АСРК.

3.3 Разработка, изготовление и поставка аппаратуры систем технического диагностирования главных циркуляционных насосных агрегатов для АЭС «Руппур» блок № 1 в Бангладеш и АЭС «Аккую» блок № 1 в Турции

А.М. Алексеенко, В.В. Зарубин, М.А. Ельшин, А.Ф. Коршунов, П.В. Макагон, Т.М. Попова, В.А. Репин, А.И. Семенов

В 2020 году продолжалась работа в рамках договора с АО «ЦКБМ» по выпуску документации, изготовлению и поставке комплектов аппаратуры систем технического диагностирования (АСТД) главных циркуляционных насосных агрегатов (ГЦНА) для АЭС «Руппур» блок № 1 (Бангладеш) и для АЭС «Аккую» блок № 1 (Турция).

АСТД является приборной частью системы технического диагностирования главных циркуляционных насосных агрегатов (СТД ГЦНА), предназначенной для непрерывного отслеживания технического состояния четырёх ГЦНА реакторной установки энергоблока АЭС по данным контроля теплотехнических и вибрационных параметров, выдачи диагностических сообщений о состоянии ГЦНА и формирования сигналов на блочный пульт управления АЭС о превышении уровня вибрации выше установленных значений.

Работа выполнялась совместно с сотрудниками АО «ЦКБМ», разработавшими программное обеспечение для СТД ГЦНА.

В состав АСТД входят следующие устройства:

- 1) комплект первичных преобразователей и соединительных кабелей;
- 2) коробки соединительные SK-001/002 с преобразователями сигналов – 4 шт.;
- 3) удаленное рабочее место (УРМ) на основе персонального компьютера – 1 шт.;
- 4) комплект ЗИП – 1 шт.;
- 5) устройство информационно-измерительное (УИИ).

АСТД с установленным программным обеспечением в составе СТД ГЦНА выполняет следующие функции:

- контроль состояния ГЦНА и формирование предупредительной и аварийной сигнализации;
- передача обработанных параметров вибрации в СВБУ по Ethernet;
- формирование и выдача сигналов типа «сухой контакт» при превышении предупредительных и аварийных уровней вибрации для отображения на панелях блочного пульта управления (БПУ) АЭС;
- контроль технического состояния аппаратной части системы;
- передача в СВБУ сообщений при неисправности СТД ГЦНА;
- получение параметров теплотехнического контроля (ТТК) ГЦНА и данных о состоянии арматуры ГЦНА от СВБУ;
- совместный анализ данных теплотехнического и вибрационного контроля ГЦНА

с целью уточнения его технического состояния и выявления тенденций к изменению технического состояния;

- представление информации о результатах анализа технического состояния ГЦНА (диагностических сообщений) оперативному и техническому персоналу энергоблока;
- ведение собственного непрерывного архива данных.

АСТД обеспечивает измерение абсолютной и относительной вибрации ГЦНА, используя акселерометры и вихретоковые преобразователи. Основные метрологические характеристики измерительных каналов приведены в таблице.

Таблица

Основные метрологические характеристики измерительных каналов

Наименование параметра	Значение
Каналы измерения абсолютной вибрации (датчики: AS-063 или AS-073, MB-44M-1):	
а) количество каналов, шт.	28
б) диапазон измерения виброскорости, мм/с	от 0,5 до 50,0
в) частотный диапазон, Гц	от 10 до 1000
г) пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения виброскорости, мм/с	$\pm(0,1+0,1 V_{\text{изм}})$, где $V_{\text{изм}}$ – измеренное значение виброскорости, мм/с
д) неравномерность АЧХ	- в соответствии с ГОСТ ISO 2954: - на частотах 10 и 1000 Гц от $-1,01$ до $-5,01$; - на частотах 31,6 и 79,4 Гц от $+0,83$ до $-0,92$; - на частоте 398 Гц от $+0,81$ до $-0,94$; - на частоте 794 Гц от $-0,14$ до $-1,89$
Каналы измерения относительного зазора (вихретоковые преобразователи SD 052/OD 054 или СИЭЛ 166Д/СИЭЛ 1661N):	
а) количество датчиков, шт.	24
б) диапазон измерения смещения, мм	от $-1,0$ до $+1,0$
в) пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения смещения, мм	$\pm(0,02+0,05 X_{\text{изм}})$, где $X_{\text{изм}}$ – измеренное значение смещения, мм
г) диапазон измерения амплитуды виброперемещения, мм	от 0,05 до 0,35
д) пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения амплитуды виброперемещения, мм	$\pm(0,02+0,07 S_{\text{изм}})$, где $S_{\text{изм}}$ – измеренное значение виброперемещения, мм
е) частотный диапазон, Гц	от 10 до 200
Каналы измерения частоты вращения (вихретоковые преобразователи SD 052/OD 054 или СИЭЛ 166Д/СИЭЛ 1661N):	
а) количество каналов, шт.	4
б) диапазон измерения частоты вращения, об/мин	от 20 до 1200
в) пределы допускаемой основной приведенной погрешности измерения частоты вращения, %, не более	± 1
Общее количество измерительных каналов, шт.:	56



Устройство информационно-измерительное

В 2020 году был разработан, изготовлен и передан Заказчику – АО «ЦКБМ» комплект АСТД в варианте исполнения ЛКВШ 17.207.0000.00-01, который отличается от базового большим количеством измерительных каналов (56 вместо 48) и применением датчиков и вторичных преобразователей фирмы «СИЭЛ» (Россия) вместо аналогичного оборудования фирмы «Briel & Kjaer Vibro» (Германия).

Головной образец АСТД ЛКВШ 17.207.0000.00-01 успешно прошел испытания на внешние воздействующие факторы (ВВФ) и электромагнитную совместимость (ЭМС), а также испытания с целью внесения изменений в утверждение типа средств измерений в связи с увеличением измерительных каналов.

В результате многолетней и успешной работы ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» и АО «ЦКБМ» с 2007 по 2020 год было создано и поставлено 18 комплектов АСТД и аналогичной аппаратуры для российских и зарубежных АЭС.

Многолетняя непрерывная работа в условиях АЭС на практике подтвердила высокую надёжность изготовленного оборудования.

3.4 Разработка и ввод в эксплуатацию первой очереди РМК испытательного комплекса «Ресурс»

С.В. Окунцов, Д.М. Солдатенков, Л.И. Спиридонова

В рамках создания расчётно-моделирующего комплекса (РМК) опытного образца энергоблока в составе наземного испытательного комплекса «Ресурс» разработана первая очередь РМК, обеспечивающая моделирование динамики технологических систем (ТС) испытательного комплекса (ИК) «Ресурс» (РМК ИК «Ресурс»).

Первая очередь РМК ИК «Ресурс» объединяет:

- аппаратный комплекс с рабочими местами инженеров исследователей и интерактивным дисплейным пультом;
- системное программное обеспечение (ПО) автоматизации моделирования, управления вычислениями и отображения информации;
- функциональное ПО комплексной математической модели технологических систем и алгоритмов их управления;
- комплекс интерактивных видеокадров технологических систем.

РМК ИК «Ресурс» разработан на основе имеющихся в НИТИ проектных данных и в соответствии с разработанной на этапе подготовки к моделированию функциональной спецификацией.

РМК ИК «Ресурс» включает в себя:

1. Аппаратный комплекс РМК ИК «Ресурс»:

- Две ПЭВМ с двумя LCD мониторами каждый для рабочего места инженера-исследователя (РМИИ) с функцией главного вычислителя;
- дисплейный пульт управления и отображения видеокадров систем ИК (девять сенсорных дисплеев).

2. Системное ПО РМК ИК «Ресурс»:

- ПО системы автоматизации моделирования «Термит-ПК»;
- ПО управления вычислениями и интерфейсом пользователя (РМИИ);
- ПО конфигурации и отображения видеокадров на дисплейном пульте.

3. Функциональное ПО комплексной математической модели систем РМК ИК «Ресурс», реализованное в системе автоматизации моделирования «Термит-ПК» и включающее в свой состав математические модели следующих технологических систем ИК «Ресурс»:

- Система охлаждения имитаторов холодильников-излучателей (ИХИ 1–4) за пределами внутреннего контура:
 - система охлаждения ИХИ 1...4;
 - промежуточный контур систем охлаждения;

3. Динамические исследования, создание тренажёров

- участки СНТВС отвода тепла (системы надежного технического водоснабжения) от промежуточного контура ИХИ 1...4.
- Система охлаждения имитаторов вспомогательных холодильников-излучателей (ИВХИ 1, ИВХИ 2), система охлаждения защиты радиационной дополнительной внутренней (ЗРДВ):
 - газовый контур ИВХИ 1;
 - система охлаждения ИВХИ 2 – контур сверхвысоковакуумной жидкости (СВВЖ);
 - газовый контур ЗРДВ;
 - промежуточный контур систем охлаждения ИВХИ 1,2; ЗРДВ;
 - участки СНТВС отвода тепла от промежуточного контура ИВХИ 1,2, ЗРДВ.
- Система аварийного расхолаживания опытного образца реакторной установки (САР РУОО):
 - система промежуточного контура САР;
 - участки СНТВС отвода тепла от промежуточного контура САР.
- Система надёжного технического водоснабжения (СНТВС). Узел подготовки воды СНТВС;
- Система заправки и подпитки СВВЖ и воды высокой чистоты ВВЧ контуров изделия:
 - система заправки и подпитки СВВЖ;
 - система заправки и подпитки ВВЧ.
- Система снабжения техническими газами;
- Система обращения с ЖРО (Система сбора дренажных растворов ССДР);
- Система обращения с газообразными радиоактивными отходами (УПАК);
- Системы вентиляции и воздушного охлаждения;
- Алгоритмы автоматического управления системами и оборудованием на базе проектной документации по автоматизации ИК «Ресурс»;
- Модели блоков управления исполнительными механизмами ИК «Ресурс» – блок управления электродвигателем (БУД), блок управления запорной арматурой (БУЗ);
- Алгоритмы отображения аналоговых параметров и состояния арматуры на видеокадрах РМК ИК «Ресурс».

4. Интерактивные видеокадры информационной модели.

Разработанный РМК ИК «Ресурс» обеспечивает:

- управление режимами моделирования с рабочего места инженера-исследователя (инструктора) в соответствии с функциональными возможностями используемого программного обеспечения РМИИ;
- отображение видеокадров РМК ИК «Ресурс» на сенсорных панелях дисплейного пульта с возможностью интерактивного перехода между видеокадрами;

- взаимосвязанное моделирование технологических систем ИК «Ресурс» в нормальных и аварийных режимах эксплуатации;
- управление моделируемыми техническими средствами ИК «Ресурс» с видеокладов технологических систем, в том числе сенсорное управление с дисплейного пульта;
- отображение текущего состояния моделируемых технических средств ИК «Ресурс»;
- отображение значений измеряемых параметров в числовой форме и в форме гистограмм;
- задание неисправностей для моделируемых технических средств ИК «Ресурс».

Первая очередь РМК ИК «Ресурс» введена в эксплуатацию в конце 2020 года. По результатам тестирования работоспособности установлено, что РМК ИК «Ресурс» позволяет:

- выполнять совместное динамическое моделирование штатных и аварийных режимов работы технологических систем испытательного комплекса «Ресурс» в интерактивном режиме управления технологическим оборудованием с отображением информации и сохранением результатов расчёта;
- выполнить требования Технического задания и Технического проекта на создание системы управления (СУ) технологических систем испытательного комплекса в части использования РМК ИК «Ресурс» в качестве имитатора объекта управления ТС ИК для валидации прикладного ПО СУ ТС и проведения предварительных испытаний СУ ТС ИК «Ресурс»;
- проводить проверки принимаемых технических решений и сопровождение пусконаладочных работ систем и оборудования испытательного комплекса «Ресурс».

3.5 Перевод системного программного обеспечения ПК ТЕРМИТ в операционную систему ASTRA Linux

О.А. Иконникова, О.А. Ковалева, С.В. Крицак, Т.В. Романова,
В.П. Талалаев, А.А. Шаленинов

Необходимость перевода программного комплекса ТЕРМИТ в операционную систему ASTRA Linux Special Edition продиктована общими требованиями Министерства обороны Российской Федерации по импортозамещению и обеспечению информационной безопасности для создаваемых с помощью ПК ТЕРМИТ программно-аппаратных комплексов.

В силу сложности и объёмности задачи был выполнен перевод только той части программного обеспечения ПК ТЕРМИТ, которая минимально необходима для функционирования создаваемых комплексов. Сюда входят:

- программное обеспечение (ПО) серверной части ПК ТЕРМИТ;
- сетевое ПО «клиент-сервер»;
- ПО рабочего места инструктора (РМИ).

В качестве инструмента разработки ПК ТЕРМИТ на Windows использовалась среда программирования Delphi, начиная с версии 7 и заканчивая версией XE7.

Для перевода ПО в операционную систему ASTRA Linux была выбрана среда программирования Lazarus с языком Free Pascal (среда и компилятор – свободно распространяемые). Перевод осложнялся, в частности, тем, что:

- язык реализации ПК ТЕРМИТ Object Pascal и язык Free Pascal имеют ряд отличий, например, по-разному производится работа со строками (а это довольно существенный объём исходного программного кода);
- в операционных системах Windows и Linux принята различная кодировка текстовых файлов: для Windows – ANSI, для Linux – UTF8;
- такие механизмы как потоки, процессы, события, разделяемая память, работа с файлами, динамическими библиотеками и другие реализованы по-разному в операционных системах Windows и Linux, и требуют различных библиотечных функций или системных вызовов;
- в Lazarus много компонент, функционально и по использованию совместимых с теми, которые используются в Delphi-версии, однако часть компонент необходимо было заменить на эквивалентные кроссплатформенные версии или сходные по функциональности компоненты среды Lazarus;
- удалённая работа с процессами в Linux производится иначе, чем в Windows.

Кроме этого, исходный код системного ПО имеет довольно большой объём. Так объём кода серверной части составляет приблизительно 36 000 строк кода, объём кода клиентской части составляет примерно 184 200 строк кода (РМИ – 102 330, динамические графики – 57 070, постобработка – 24 800). Здесь учтён чистый код только проектов, без плагинов, файлов конфигурации форм *.dfm и исходных текстов открытых модулей среды разработки.

В качестве базы данных, в плане импортозамещения, была выбрана СУБД PostgreSQL (поставляемая в составе дистрибутива ASTRA Linux) вместо используемой проприетарной СУБД Oracle.

Сетевое ПО разработано на языке C++. Для перевода в ОС ASTRA Linux из ОС Windows потребовалась адаптация исходных текстов к особенностям новой версии компилятора C++ в составе ОС ASTRA Linux.

Создание кроссплатформенной версии исходных текстов программ

Для перевода ПО в ОС ASTRA Linux были установлены на тестовую виртуальную машину среда разработки Lazarus 2.0.8 и компилятор FPC 3.0.4. Также была проведена настройка среды разработки и дополнительно установлен пакет компонент ZEOSlib для доступа к базе данных PostgreSQL.

Для обеспечения совместного использования исходных текстов программ в среде Lazarus и Delphi XE7:

- определены недостающие функции, которые присутствовали в модуле Windows и заменены эквивалентами из кроссплатформенных модулей;
- откорректированы использование типов данных и вызов функций;
- изменены функции разбора строк, содержащих русские буквы;

- заменён механизм запуска процессов и приложений;
- изменены загрузка и вызов функций из динамических библиотек (включая динамические библиотеки на С и FORTRAN).

Перевод системного ПО серверной части (среда выполнения задач)

Для адаптации исходных текстов ПО среды выполнения задач для сборки в среде Lazarus в ОС ASTRA Linux выполнена коррекция функций регистрации сигналов в модели для обмена их значениями с приложениями-клиентами.

Изменен механизм запуска и синхронизации процессов с помощью системных вызовов ОС ASTRA Linux. Получение информации о состоянии запущенного процесса обеспечивается созданием именованных FIFO-каналов. Передача состояния процесса производится записью в соответствующий файловый дескриптор.

Для обеспечения межпроцессного взаимодействия вместо разделяемой памяти выбран POSIX-совместимый вариант, вызов системной функции Unix-mmap, реализующий отображение файла (устройства) в память.

Перевод сетевого программного обеспечения (ПО)

Для обеспечения обмена данными между клиентской и серверной частями использован механизм сетевых функций доступа. Модуль сетевого обмена на клиентской стороне реализован в виде динамически подгружаемой библиотеки netxs.so. Функции библиотеки обеспечивают:

- открытие сессии;
- регистрацию передаваемых сигналов;
- получение пакетов текущих значений сигналов;
- передачу новых значений управляющих сигналов (команд);
- закрытие сессии.

Возможно одновременное открытие нескольких сессий для обмена данными с разными серверами. При регистрации сигналов для оптимизации передаваемых пакетов предусмотрена проверка на дубликаты с использованием счётчиков подключений. Проведена адаптация исходных текстов библиотеки netxs.so к особенностям новой версии компилятора C++ в составе ОС ASTRA Linux.

Для обеспечения серверной части сетевого обмена программного комплекса ТЕРМИТ использован сервер сетевого обмена с программой имитации сетевого обмена. Модуль сетевого обмена на серверной стороне реализован в виде динамически подгружаемой библиотеки libkindll.so.

Перенос схем баз данных с СУБД Oracle на СУБД PostgreSQL

Изучение существующих инструментов миграции показало наличие большого числа программных продуктов для переноса схем. Для наших целей нужно было ПО, позволяющее с минимальными изменениями настроек обеспечить перенос нескольких однотипных схем.

Наиболее подходящим вариантом оказалась программа Ora2pg, распространяемая как свободное ПО. Перенос выполнялся с использованием специально настроенной виртуальной машины с установленной ОС ASTRA Linux, клиентами БД Oracle и Postgre SQL, а так же среды Perl. На тестовом сервере с установленной ОС ASTRA Linux был настроен сервер Postgres, на рабочих местах разработчиков установлены и настроены клиенты Postgre SQL в ОС Windows и ASTRA Linux.

При осуществлении миграции схем из СУБД Oracle в Postgre SQL встал вопрос о возможном несоответствии типов данных между разными базами. В связи с этим была проведена конвертация полей неподдерживаемого Postgre SQL типа данных LONG RAW в поля типа BLOB, с использованием специальной функции сервера Oracle. В итоге был разработан алгоритм переноса схем базы данных ПК ТЕРМИТ с СУБД Oracle на СУБД Postgre SQL.

Была проверена работоспособность различных видов запросов на сервере СУБД Postgre SQL (СУБД Postgre SQL и Oracle имеют схожий функционал, но различный синтаксис построения некоторых SQL-запросов). Был определён список рекомендаций для изменения некоторых сложных SQL-запросов, используемых в ПК ТЕРМИТ.

Перевод программного обеспечения рабочего места инструктора (РМИ)

При переводе программного обеспечения РМИ выполнен большой объём импорта исходных текстов модулей и форм с помощью сервиса Lazarus. При этом потребовалось заменить часть компонент на формах эквивалентными компонентами, с использованием условной компиляции. Размеры кнопок, полей ввода, списков и т.д. в штатной библиотеке Linux GTK2 (используется для Lazarus как системная библиотека) не совпадают с Windows, поэтому потребовалось корректировать положение и размер визуальных компонент на форме. С учётом различий в выполнении событий для некоторых компонент в Delphi и Lazarus внесены изменения в их функции.

Для загрузки модели, запуска задачи на счёт, управления режимом работы комплексной математической модели из РМИ была выполнена корректировка соответствующих функций.

СУБД PostgreSQL и Oracle имеют схожую функциональность, но иной синтаксис построения сложных SQL-запросов, поэтому потребовалась коррекция некоторой части SQL-запросов.

Одной из основных задач, возникших при портировании программ отображения динамических графиков и постобработки зарегистрированной информации, оказалась задача замены компоненты для построения графиков TChart в Delphi. Для сборки в среде Lazarus она была заменена на компоненту TACHart, которая обладает схожей функциональностью. Соответственно, код программ был переписан на эту компоненту с использованием условной компиляции. Но оказалось, что компонента из среды Lazarus по некоторым весьма необходимым функциям уступает компоненте TChart в Delphi. Поэтому были созданы дополнительные функции, такие как переход по страницам, выбор графика с помощью манипулятора типа «мышь», отображение легенды, точек регистрации и другие.

Для обмена командами между приложениями разработан новый механизм обмена сообщениями.

Скорректированы функции регистрации сигналов в модели для получения и отображения их значений.

Часть рабочих файлов модели хранится в упакованном виде в базе данных. Функции архивации файлов и директорий потребовалось переписать для совместной работы с этими файлами в ОС Windows и ASTRA Linux.

Разработан адаптированный для ОС ASTRA Linux вариант системы отображения информации, получаемой в результате моделирования, в виде динамических видеокадров, мнемосхем и панелей пультов управления для использования в составе различных расчётно-моделирующих и тренажёрных комплексов.

Адаптация клиентской части программного обеспечения рабочего места разработчика Windows для работы с ПО серверной части в ОС ASTRA Linux

Вычислительные модули серверной части (пакет АКУЛА) написаны на языке FORTRAN и используются с помощью динамически загружаемых библиотек. Поэтому пришлось добавить механизм удалённой генерации динамических библиотек модулей для использования в ОС ASTRA Linux.

Компиляция этих библиотек выполняется компилятором GFortran в ОС ASTRA Linux. В связи с особенностями компилятора GFortran в составе ОС ASTRA Linux была видоизменена генерация исходных текстов вычислительных модулей для создания динамических библиотек SO.

Был разработан дополнительный механизм управления средой выполнения задач в ОС ASTRA Linux по протоколу SSH (с помощью программы-клиента PuTTY).

Отладка и тестирование

Сначала выполнялось тестирование базовой функциональности среды разработки Lazarus, которое было необходимо для успешной компиляции всего комплекса. Для этого было собрано небольшое тестовое приложение. Затем были импортированы и собраны приложения для отображения динамических графиков, постобработки зарегистрированных параметров, системного ПО серверной части (среда выполнения задач, интерпретатор программ для пакета АКУЛА). Вычислительные модули пакетов моделирования ПРАГИС и АРТЕК были переведены в ОС ASTRA Linux сотрудниками отдела динамики и прикладной математики. Для пакета СЕЛЕН (написанного полностью на языке FORTRAN) перевод не понадобился.

Проведено тестирование работы визуальных компонент и компонент отображения графической информации, потоков, процессов, событий, сервера с разделяемой памятью на виртуальной машине с ОС ASTRA Linux, чтения и записи файлов, загрузки и использования динамических библиотек, функций разбора строк, содержащих русские буквы.

Для автономной отладки ПО среды выполнения в ОС ASTRA Linux был использован специальный режим автономной работы серверной части, в котором команды серверной части поступают не от клиента, а считываются из файла. Проведена автономная отладка выполнения команд загрузки задачи или мультизадачи, счёта задачи/мультизадачи на шаге, записи/чтения фотографии, команд, связанных с регистрацией, протоколированием, проигрыванием и других команд.

Произведено тестирование совместной работы системного и функционального ПО

серверной части в ОС ASTRA Linux на предмет точности вычислений. Для этого проводились запуски с рабочего места разработчика под Windows тестовых задач на сервере под ASTRA Linux и под Windows, содержащих компоненты:

- автоматика (пакет АКУЛА);
- однофазной теплогидравлики (пакет ПРАГИС);
- двухфазной гомогенной теплогидравлики (пакет АРТЕК);
- электрики (пакет СЕЛЕН).

Кроме этого, запускалась основная задача «В1» расчётно-моделирующего комплекса КМ-1 в различных моделируемых режимах, созданная с помощью ПК ТЕРМИТ коллективом сотрудников ОДИ. Для всех этих задач проводилось сравнение полученных результатов. Для сравнения использовались вспомогательные специально разработанные инструментальные средства - программы пошагового дампитирования результатов счёта и сравнения результатов, полученных при прогонах задач в ОС Windows и ОС ASTRA Linux. Автоматическое пошаговое сравнение результатов, полученных в ОС Windows и ОС ASTRA Linux, показало точное совпадение вычисленных значений целого и логического типов, а также совпадение значений вещественного типа с заданной относительной погрешностью (не более 0.0001) на всём временном интервале моделирования.

Проведена комплексная отладка и тестирование сетевых функций доступа к информации ПК ТЕРМИТ библиотек сетевого обмена данными в версиях для ОС ASTRA Linux.

Для отладки РМИ в ОС ASTRA Linux была выполнена выгрузка задачи из базы данных СУБД Oracle в базу данных СУБД Postgre SQL на ОС ASTRA Linux. Было запущено ПО РМИ в ОС ASTRA Linux, протестирована работа всех функций РМИ (запуск задачи, управление моделью, чтение фотографии, получение протокола действий, регистрация сигналов, отображение значений сигналов на графиках, постобработка зарегистрированных параметров и ряд других).

Заключение

Для целей импортозамещения осуществлён перенос системного программного обеспечения программного комплекса ТЕРМИТ из операционной системы Windows в отечественную операционную систему ASTRA Linux Special Editions. Перенесены ПО серверной части (среда выполнения задач), а также программное обеспечение рабочего места инструктора.

Использование СУБД Oracle в РМИ заменено на использование СУБД Postgre SQL. Перенесённое программное обеспечение отлажено и оттестировано. Полностью сохранена функциональность комплекса.

Работа ПК ТЕРМИТ в ASTRA Linux проверена на реальной математической модели установки КМ-1 и идентична работе ПК ТЕРМИТ в ОС Windows, при этом имеет место совпадение результатов моделирования и сохранение всех функций РМИ.

При выбранном подходе (использование среды Lazarus) работа была выполнена всего за полгода. Создание программного кода программного комплекса ТЕРМИТ заново на языке C++ или другом языке программирования заняло бы больше времени. При этом при отладке возникли бы значительные трудности из-за изменения структуры и логики исходных текстов программ.

3.6 Развитие расчётно-моделирующего комплекса стенда КМ-1

И.А. Бырков, Е.И. Дербуков, А.В. Ипатов, С.К. Кавешников,
В.А. Корчагин, С.В. Крицак, Д.В. Лялюев, Д.Б. Тепляков,
В.А. Черного

Расчётно-моделирующий комплекс (РМК) КМ-1 является ключевой частью специализированного программно-технического комплекса сквозной технологии проектирования и отладки алгоритмов, программного обеспечения и аппаратуры системы управления техническими средствами ЯЭУ стенда КМ-1. Сквозная технология проектирования основана на использовании гибридной комплексной математической модели РМК в качестве имитатора объекта управления. В состав модели входят: реперная математическая модель физических процессов в системах ЯЭУ, эталонная модель алгоритмов функционирования автоматизируемых технических средств ЯЭУ, проекты программного обеспечения для штатных программно-технических комплексов системы управления.

В соответствии с дополнением № 1 к ТЗ на составную часть ОКР «Создание системы управления технологическими системами стенда КМ-1» [1] для РМК КМ-1 расширен объём моделирования в части охвата технологических систем стенда с целью дальнейшего использования РМК КМ-1 в качестве имитатора объекта управления в составе программно-технического комплекса для отладки и испытаний штатного программного обеспечения (ПО) и комплексной системы управления КСУ ЯЭУ и системы управления (СУ) технологических систем стенда (ТСС) КМ-1.

В соответствии с проектом СУ ТСС в объём моделирования включены следующие системы:

1. Технологические системы нормальной эксплуатации:

- система технического водоснабжения (СТВС);
- система холодоснабжения кондиционера контейнера;
- система снабжения сжатым воздухом и гелием, включая систему сжатого воздуха;
- система внутренних сетей спецканализации;
- система внутренних сетей производственной канализации и удаления стоков после пожаротушения;
- система вентиляции;
- система дымоудаления.

2. Технологические системы нормальной эксплуатации, важные для безопасности:

- система сдувок и вакуумирования (ССВ);
- система выдержки газа (СВГ);
- система газоочистки (СГО);
- система спецвентиляции;
- система электроснабжения нормальной эксплуатации.

3. Технологические системы безопасности:

- система надёжного технического водоснабжения (СНТВС);
- система хранения и подачи дизельного топлива (дизель-генераторная установка – система аварийного электроснабжения);
- система жизнеобеспечения;
- система аварийного электроснабжения.

Разработанные математические модели технологических систем стенда являются составной частью функционального программного обеспечения РМК.

В составе РМК имеется эталонная математическая модель алгоритмов управления техническими средствами в составе технологических систем, выполняющая функции математической модели штатного функционального ПО.

Для управления техническими средствами СУ в ПК ТЕРМИТ реализованы блок управления электродвигателем, блок управления клапаном и блок управления задвижкой, в которых реализованы также сценарии отказов на уровне электрических схем управления исполнительными механизмами (запорная и регулирующая арматура, электродвигатели), включая цепи сигнализации, а также отказов блоков питания и преобразования. Эталонная модель алгоритмов необходима для отладки программного обеспечения функционально-самостоятельного комплекта аппаратуры во взаимодействии со смежными подсистемами и каналами управления.

Для каждой моделируемой технологической системы разработаны прототипы пультовых видеокладов ЦПУ и местных постов для реализации функций управления и контроля. Модель человеко-машинного интерфейса, реализованная на РМК, воспроизводит на дисплейных пультах основные способы представления информации оператору ТСС и позволяет провести отработку и валидацию способов выполнения функций управления и контроля технологическими процессами стенда оператором.

Совместно с РМК может использоваться универсальный сенсорный дисплейный пульт управления (УСДПУ) [3]. УСДПУ используется для отладки человеко-машинного интерфейса, разрабатываемого в рамках работ по созданию СУ ЯЭУ и СУ ТСС. УСДПУ воспроизводит основные способы представления информации операторам ЯЭУ, ТСС и ЭЭС стенда КМ-1 на дисплейных сенсорных пультах и позволяет отработать способы реализации функций управления, контроля и представления информации, реализованные в проектах СУ ЯЭУ и СУ ТСС.

Таким образом, получен инструментарий, позволяющий эффективно выполнять отработку алгоритмов управления и штатного ПО создаваемой СУ ТСС с учётом влияния физических параметров исследуемой стендовой ЯЭУ на оборудование ТСС.

Комплексная всережимная математическая модель реального времени, реализованная в составе РМК, позволяет моделировать весь спектр режимов нормальной эксплуатации и часть аварийных режимов работы стендовой установки совместно с ЯЭУ, ТСС и их систем управления.

Высокое качество работы РМК и точность моделирования подтверждены кросс-верификацией КММ РМК КМ-1 с расчётами, выполненными организацией Главного конструктора ППУ [2], что позволяет использовать его при отработке алгоритмов, отладке и испытаниях штатного ПО систем контроля и управления ЯЭУ и ТСС, систем диагностирования технических средств установки и систем информационной поддержки оперативного персонала до их поставки на стенд.

С помощью РМК получены первые практические результаты. РМК использовался в качестве имитатора объекта управления при разработке, отладке и приемочных испытаниях функционального и системного ПО мобильного управляющего комплекса «АЛИССУМ», предназначенного для обеспечения автоматизированного управления при проведении режимов комплексного опробования технологического, электротехнологического и электротехнического оборудования технологических систем стендов-прототипов ЯЭУ.

Для выполнения вновь актуализированных требований по информационной безопасности разрабатываемых в институте объектов информатизации, таких, как тренажёры и моделирующие комплексы объектов использования атомной энергии, осуществлен перевод программного обеспечения РМК КМ-1 в операционную систему ASTRA Linux Special. Работа по переводу системного ПО из операционной системы Windows в ОС ASTRA Linux выполнена в НИТИ впервые и включала в себя адаптацию и доработку серверной и клиентской части ПК ТЕРМИТ, а также разработку новых платформу-зависимых процедур и ПО. Выполнено сравнительное тестирование работы РМК КМ-1 в ОС Windows и ASTRA Linux, которое показало возможность решения задачи импортозамещения (на уровне ОС) и удовлетворения новейших требований по информационной безопасности для объектов информатизации, выполненных с применением системы ТЕРМИТ.

Литература

1. Создание системы управления технологическими системами стенда КМ-1: Дополнение № 1 к техническому заданию на составную часть опытно-конструкторской работы: ЛКВШ 17.204.0000.00 ТЗ / ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». – 2018.
2. Кросс-верификация моделей в составе РМК ЯЭУ АМБ-8КМ-1 с расчётами Главного конструктора ППУ: Часть 3; Отчет о НИР. ЛКВШ 09.200.1000.00 Д20 / ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». – 2020.
3. Программно-технический комплекс с универсальным сенсорным дисплейным пультом управления для создания тренажёрных систем / С. П. Витин, Д.В. Лялюев, Д.Б. Тепляков, В.П. Черных // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок. – 2016. – № 3 (5). – С. 71–74.

3.7 Создание, применение и развитие функционального тренажёра системы управления технологическими системами стендового комплекса

Р.А. Атягин, Е.В. Зарубин, О.А. Иконникова, А.С. Нефедова,
Т.В. Романова, В.А. Черного, В.В. Шаталов

Важнейшим направлением обеспечения безопасности использования ядерной энергии является качественная профессиональная подготовка квалифицированного персонала и постоянное поддержание высокого уровня знаний и навыков. Наиболее эффективным методом реализации данной задачи является использование в процессе подготовки и лицензирования персонала технических средства обучения, а именно, функциональных и полномасштабных тренажёров, максимально адекватно имитирующих работу реального оборудования ЯЭУ в нормальных и аварийных режимах эксплуатации. ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» имеет почти 50-летний положительный опыт создания функциональных и полномасштабных тренажёров для оборудования ЯЭУ.

Существующий функциональный тренажёр системы управления технологическими системами стендового комплекса (ФТ СУ ТС СК) создан для надёжного обеспечения подготовки оперативного персонала пульта управления №1 (ПУ1) и общего щита управления (ОЩУ) стендового комплекса «Каскад», на базе функционального программного обеспечения (ПО) имитационно-моделирующего комплекса (ИМК) СУ ТС СК.

ИМК СУ ТС СК задействовался в качестве имитатора объекта управления в составе специального испытательного полигона и включал в себя многорежимную имитационную модель динамики реального времени и эталонную математическую модель (ММ) алгоритмов системы управления, реализованные на центральном вычислителе (Alpha Server).

ИМК СУ ТС СК предназначался для выполнения следующих задач [1]:

- тестирования и корректировки проектных алгоритмов СУ ТС СК;
- отработки человеко-машинного интерфейса;
- проверки обоснования проектных решений по отдельным технологическим системам и по их комплексному взаимодействию.

С момента создания ИМК выполнял также нехарактерную для него роль – задействовался в процессе обучения и подготовки операторов ПУ1 и ОЩУ. В 2016 году в связи с обновлением вычислительной техники ИМК СУ ТС СК и в целях организации надёжной подготовки и обучения специалистов, эксплуатирующих стенд, принято решение о создании на базе ИМК функционального тренажёра. Применение ФТ, созданного на основе ПО ИМК, позволяет не задействовать при моделировании фрагменты средств нижнего уровня (приборы, шкафы, стойки пультов управления).

ФТ СУ ТС СК – распределённый вычислительный программно-технический комплекс, позволяющий моделировать работу и управление индивидуальными, общими и вспомогательными ТС СК в режиме реального времени посредством задания управляющих воздействий со штатных видеокадров СУ ТС.

В структуре ФТ можно выделить следующие основные составляющие (рисунок) [2]:

Центральный вычислитель – сервер, обеспечивающий функционирование ФТ в режиме реального времени.

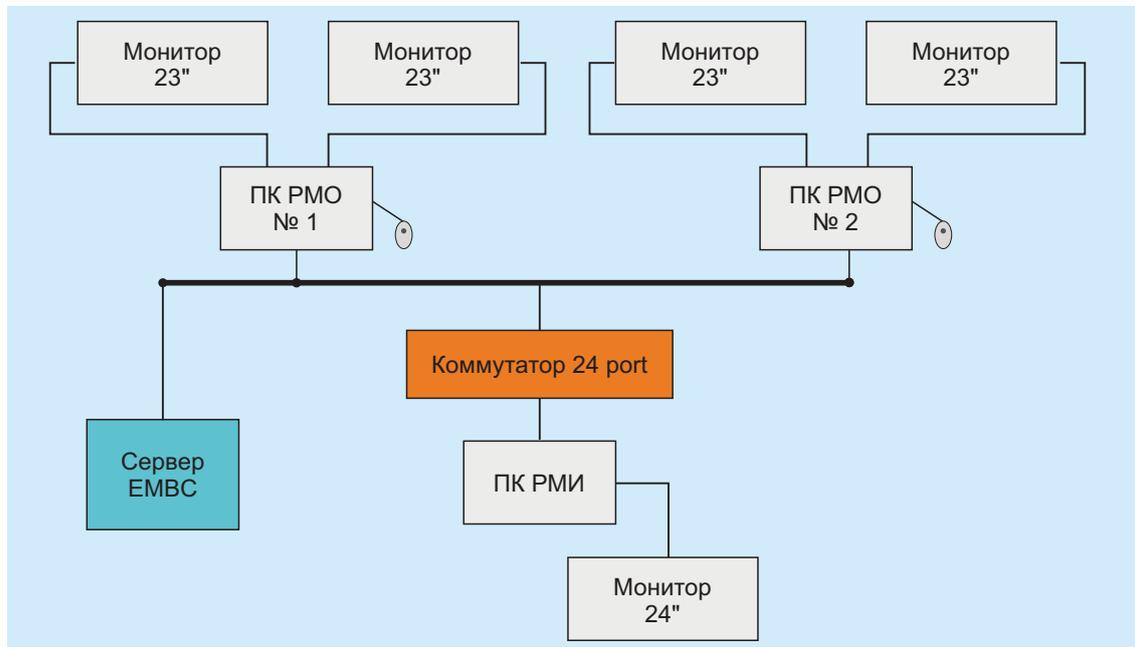


Рисунок – Структурная схема ФТ СУ ТС СК

Рабочее место оператора (РМО) – автоматизированное рабочее место, предназначенное для имитации действий оператора посредством интерактивного взаимодействия с ММ СУ ТС СК.

Рабочее место инструктора (РМИ) – автоматизированное рабочее место, предназначенное для запуска и управления математической моделью реального времени ТС СК, визуализации данных, отсутствующих на штатных видеокадрах пультов управления, внесения изменений в математические и информационные модели в процессе сопровождения функционального тренажёра.

В первоначальной версии тренажёра ММ разработана в среде инструментально-моделирующего комплекса (ИМК) «Термит-Д» [3], предназначенном для автоматизации разработки и сопровождения функционального и специального ПО для тренажёров, имитаторов и моделирующих комплексов ядерных и тепловых энергетических установок. Функционирование ИМК «Термит-Д» осуществлялось в операционных системах (ОС) «Open VMS», «Windows 98» и «DOS».

Информационная модель (ИМ) РМИ разработана в графическом редакторе дисплейных информационных моделей «ГРИМ» и включает видеокадры пультов управления ТС, видеокадры задания внешних параметров модели и аварийных вводных.

ПК РМО № 1,2 функционировали на платформе ОС «Windows 2000» и ПО на основе штатных функциональных проектов верхнего уровня СУ ТС СК, реализованных в SCADA-системе InTouch. Данная технология позволяет в режиме реального времени имитировать следующие функции человеко-машинного интерфейса СУ ТС:

- сбор, архивацию и визуализацию необходимой информации;
- дистанционное и автоматизированное управление моделируемого оборудования;
- контроль состояния технологических процессов и сигнализации при выходе контролируемых параметров за установленные границы;
- автоматическую обработку, регистрацию и хранение информации (в том числе действий оператора);
- отображение информации на видеокадрах ПК РМО: № 1 (ПУ1) и № 2 (ОЩУ).

Практическое применение

С момента создания в 2016 году ФТ СУ ТС СК использовался не только для обучения оперативного персонала, но и в рамках работ по сопровождению испытаний на стендовом комплексе и применялся для исследовательских целей для изучения работы как отдельного оборудования, так и технологических систем в целом с целью обеспечения нормальных условий функционирования и недопущения возникновения аварийных ситуаций.

Первое прикладное применение ФТ СУ ТС СК получил в 2017 году, когда использовался в анализе условий работы теплообменников промконтура системы охлаждения корпуса реактора (ПК СОК).

При выходе из строя одного из насосов второго канала системы надёжного технического водоснабжения (СНТВС) с использованием ФТ СУ ТС СК выполнен расчёт снабжения технической водой потребителей стендового комплекса насосами одного машинного зала здания стенда.

Позднее модернизированная версия ФТ СУ ТС СК использовалась для анализа варианта снабжения потребителей СК охлаждающей морской водой от системы технического водоснабжения (СТВС) для расчётного обоснования целесообразности изменения конфигурации этой системы.

Модернизация ФТ

При проведении проверок реальных стендовых систем потребовался анализ большого количества дополнительных сигналов. Реализовать необходимые доработки ФТ с использованием существующей версии технологии «Термит-Д» не представлялось возможным. Для решения поставленной задачи в 2020 году выполнены следующие работы:

1. Для ПК РМИ в части инструментально-моделирующего комплекса «Термит»:

- разработан механизм конвертации и переноса экспортных проектных файлов расчётных схем «Термит-Д» в формат базы данных комплекса «Термит-ПК» [4];
- осуществлена установка последней версии программно-инструментального комплекса «Термит-ПК», обеспечивающего автоматизацию и технологическую поддержку разработки, отладки, тестирования, настройки, модернизации и сопровождения математических моделей;
- выполнен перенос более трёхсот компонент расчётных схем однофазной теплогидравлики, функциональных схем, реализующих алгоритмы управления, виртуальных компонент моделирования работы арматуры и контрольно-измерительных приборов (КИП);

- выполнена модернизация среды разработки математических моделей в части использования в процессе моделирования элементов блочного типа, что позволило создавать сложные типовые элементы, такие как блоки управления клапанами (БУК), реализованные в виде функциональной схемы;
- приведены в соответствие с функционирующими на объекте алгоритмы управления как отдельного оборудования, так и всех моделируемых ТС СК.

2. Для ПК РМИ в части информационной модели ФТ:

- выполнена модернизация видеокадров всех индивидуальных, общих и вспомогательных технологических систем, а также видеокадров задания аварийных вводных технологического оборудования и аварий КСУ ТС;
- добавлены видеокадры подачи охлаждающей воды СНТВС и СТВС всем потребителям СК;
- в ММ реализованы аварийные вводные для реализации течей трубопроводов промежуточных контуров ТС СК и трубопроводов охлаждающей технической воды с возможностью их задания с сервисных видеокадров;
- проведены работы по обновлению библиотек графических элементов функциональных схем, а также контроль целостности и правильности привязки сигналов ММ ТС СК к элементам видеокадров и корректности отображения графических элементов.

Обновлённые видеокадры РМИ позволяют вводить управляющие воздействия для всей ручной арматуры обвязки основных технологических трубопроводов по системам подпитки, дренажа и газоудаления. Для удобства навигации на каждом видеокадре реализовано меню переходов к смежным технологическим системам.

3. Для ПК РМО:

- выполнен переход с ОС «Windows 2000» на ОС «Windows 8.1», позволивший отойти от использования устаревшей технологии загрузки и работы ММ с сервера через виртуальные машины, а также решить проблему совместимости приложений СУ с новым программным комплексом «Термит-ПК»;
- установлен пакет InTouch 2014 R2, адаптированы все штатные видеокадры ПУ1 и ОЩУ под обновлённое ПО;
- осуществлён перенос актуальных приложений СУ общих технологических систем (ОТС) и СУ индивидуальных технологических систем (ИТС), полностью идентичным установленным на реальном стенде;
- проведён контроль целостности и правильности привязки сигналов моделируемого оборудования ТС СК к элементам видеокадров и корректности отображения графических элементов к видеокадрам ПУ1 и ОЩУ;
- проведена комплексная отладка тренажёра.

В настоящее время тренажёр активно используется для обучения оперативного персонала ОИКАР в соответствии с программами практической подготовки инженеров управления. Фрагменты ФТ задействованы при создании других расчётно-моделирующих комплексов. Доработанные ММ ТС СК в дальнейшем войдут в состав виртуального стендового комплекса «Каскад». Работа по совершенствованию и авторскому сопровождению тренажёра продолжается по мере проведения процедур модернизации стендовых систем и СУ ТС СК.

Литература

1. *Дербуков Е.И.* Имитационно-моделирующий комплекс для отладки и испытаний системы управления технологическими системами стенда/ Е.И. Дербуков, М.П. Солоха, В.А. Черного // НИТИ им. А.П. Александрова, годовой отчёт. – 2004.
2. Функциональный тренажёр системы управления технологическими системами стендового комплекса «Каскад»: Руководство оператора. ЛКВШ 15.205.0100.34 / НИТИ им. А.П. Александрова. – 2016.
3. ТЕРМИТ-Д. Инструментально-моделирующий комплекс для автоматизации разработки и сопровождения программного обеспечения тренажёров, имитаторов и моделирующих комплексов ядерных энергетических установок: Описание применения. / НИТИ им. А.П. Александрова. – 1998.
4. Работы по системной оболочке и по развитию пакетов программ автоматизации и моделирования ПК ТЕРМИТ. Программный комплекс ТЕРМИТ. Интегрированная среда разработки математических моделей: Руководство оператора. ЛКВШ 14.206.0000.00 34-1/ НИТИ им. А.П. Александрова. – 2017.

3.8 Разработка и изготовление мобильного управляющего комплекса «Алиссум» для комплексного опробования технологических систем стендов ЯЭУ

М.А. Ельшин, В.В. Зарубин, С.Д. Коновалов, А.Ф. Коршунов, Д.С. Терехов

Процесс создания испытательных стендов для ядерных энергетических установок (ЯЭУ) включает в себя, как правило, следующие этапы:

- проектирование и строительство зданий и сооружений стенда;
- проектирование, изготовление и отладка систем управления (СУ) для оборудования технологических систем стендов (ТСС);
- заказ, приобретение, установка оборудования отдельных ТСС и ввод их в эксплуатацию.

Перечисленные работы во многом зависят от особенностей планирования тех или иных направлений, организации конкурсных процедур и возможностей контрагентов. Поэтому синхронизовать выполнение этих работ достаточно сложно.

Например, проведение пусконаладочных работ и испытаний ТСС в штатных режимах работы требует наличия изготовленной, установленной и налаженной СУ этими технологическими системами (ТС). Однако оборудование ТСС поступает неравномерно, его монтаж обусловлен готовностью тех или иных зданий и сооружений, от которых зависит возможность установки и запуска СУ.

В то же время оборудование некоторых ТСС может быть установлено и подключено частично, что даёт возможность провести его опробование (тестирование) в отдельных режимах работы. Для этого необходим программно-технический комплекс, с помощью которого в выбираемых ТСС будет осуществляться управление и требуемые режимы могут быть безопасно и надёжно реализованы.

Для решения указанных задач разработан и изготовлен мобильный управляющий комплекс (МУК) «Алиссум», который и должен выполнить функцию имитатора системы управления и обеспечить автоматическое и автоматизированное управление и контроль состояния технологического, электротехнологического и электротехнического оборудования систем стенов при проведении комплексного опробования.

Наличие универсального мобильного управляющего комплекса (комплексов) позволяет последовательно или параллельно проводить опробование различных технологических систем стенового оборудования, перемещая МУК от одной системы к другой.

Предварительно, перед опробованием каждой технологической системы, на полигоне главного конструктора выполняется отработка программы комплексного опробования данной системы с помощью расчётно-моделирующего комплекса (РМК), в который загружается математическая модель данной ТС. Посредством РМК имитируются тестируемые режимы работы ТС, управление которыми осуществляется с помощью МУК.

С целью сравнения различных программно-аппаратных платформ было решено создать два варианта МУК на базе различных программно-технических средств, а именно, на основе программно-логического комплекса (ПЛК) Modicon M580 (производитель Schneider Electric) и на основе ПЛК Regul R500 (производитель Prosoft System).

Технические требования к МУК были сформулированы, исходя из анализа данных, описывающих штатную систему управления стендами.

В результате был разработан комплект МУК «Алиссум», в состав которого входят:

- приборный шкаф «Алиссум-580» на основе ПЛК Modicon M580;
- приборный шкаф «Алиссум-500» на основе ПЛК Regul R500;
- приборный шкаф «Алиссум-СВ» для организации связи RS-485 и/или Ethernet;
- комплект кабелей для сопряжения с кроссовыми и сетевыми устройствами;
- автоматизированное рабочее место (АРМ).

Изготовление МУК производилось на участке опытного производства, наладка и приёмочные испытания на полигоне главного конструктора.

Для проведения приёмочных испытаний МУК были использованы:

- АРМ для «Алиссум-580» с инструментальным программным обеспечением (ПО);
- АРМ для «Алиссум-500» с инструментальным ПО;
- РМК ТСС для моделирования технологических процессов в реальном времени;
- задатчик для имитации технологических объектов управления (ТОУ);
- АРМ для задатчика с инструментальным ПО.

Структурная схема подключения МУК «Алиссум» при приёмочных испытаниях на полигоне главного конструктора приведена на рисунке.

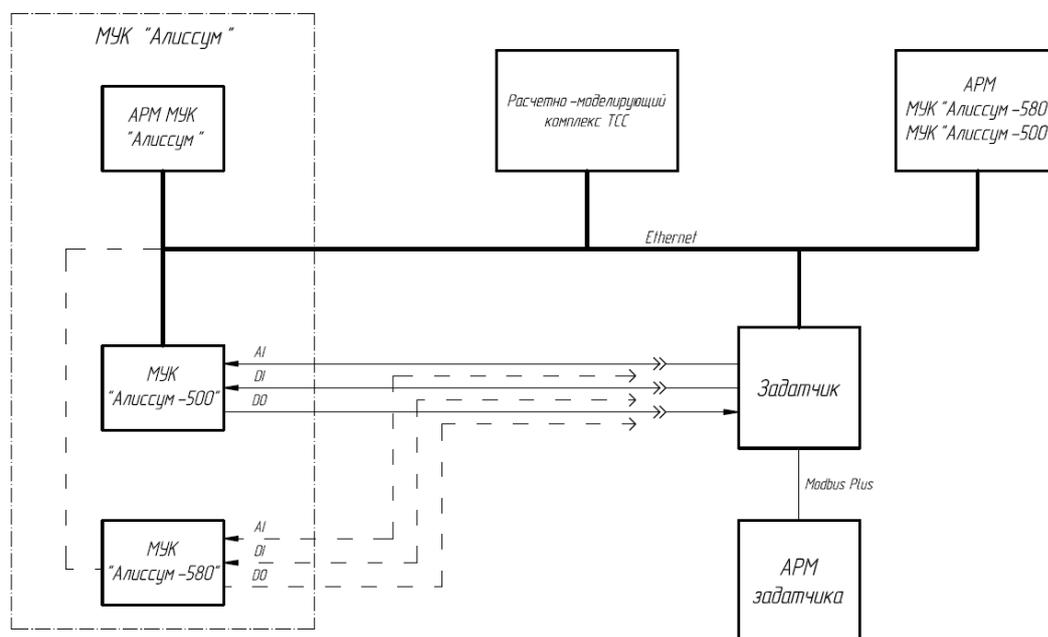


Рисунок – Структурная схема подключения МУК «Алиссум» при приёмочных испытаниях на полигоне главного конструктора

Разработанный и изготовленный МУК обеспечивает возможность ввода-вывода следующих сигналов:

- входные аналоговые (4-20 мА пост. тока) – 96 шт.;
- входные дискретные («сухой контакт», 24 В, 0.51 мА пост. тока) – 448 шт.;
- выходные дискретные («сухой контакт», 220 В, 50 Гц, 8 А) – 224 шт. (224 шт. – нормально разомкнутые или 224 шт. – нормально замкнутые);
- линии связи RS-485 – 8 шт.;
- оптические линии связи Ethernet FO – 3 шт.;
- линии связи Ethernet Tx – 14 шт.

В ходе выполнения работ по созданию МУК «Алиссум» на каждый приборный шкаф, входящий в его состав, был разработан индивидуальный комплект конструкторской и эксплуатационной документации. Кроме того, была разработана конструкторская документация на комплект кабелей для сопряжения МУК «Алиссум» с кроссовыми и сетевыми устройствами, а также проектная документация в части схем подключения комплекса на полигоне главного конструктора для проведения приёмочных испытаний.

Приёмочные испытания на полигоне главного конструктора показали, что МУК «Алиссум» готов к применению в качестве «инструментального» средства для комплексного опробования оборудования ТСС.

Возможность предварительного комплексного опробования ТСС позволяет существенно сократить как время ввода в эксплуатацию технологических систем стенда, так и, за счёт использования полученного с помощью МУК опыта управления ТСС, время создания общестеновой системы управления.

3.9 Особенности создания аппаратуры нижнего уровня для системы управления технологическим оборудованием стенда

М.А. Ельшин, С.Д. Коновалов, А.Ф. Коршунов,
А.Ю. Мигров, А.И. Семенов

Система управления технологическими системами (оборудованием) стенда (СУ ТСС) предназначена для централизованного контроля, управления и защиты оборудования ТСС в режимах нормальной эксплуатации, при нарушениях нормальной эксплуатации, включая проектные аварии, а также для обеспечения пуско-наладочных и ремонтных работ.

СУ ТСС должна обеспечивать автоматизированный контроль и одновременное управление более чем 30-ю различными технологическими системами, обеспечивающими испытываемую установку рабочими средами, электроэнергией и создающими условия для деятельности оперативного и ремонтного персонала.

Размещение на стенде отдельных ТСС носит либо локальный (в отдельных помещениях), либо распределенный характер (размещение одной ТСС в нескольких зданиях и сооружениях стенда). Оборудование различных ТСС, в ряде случаев, может частично или полностью располагаться в одних и тех же помещениях. В сооружениях, зданиях и помещениях стенда оборудование различных ТСС может быть установлено как в относительной близости, так и на больших расстояниях друг от друга.

Выполненные Генеральным проектировщиком стенда (АО «ФЦНИВТ «СНПО «Элерон» – «ВНИПИЭТ») проектно-конструкторские работы предусматривают размещение в непосредственной близости от технологического оборудования (как правило, в том же помещении) клеммных коробок, соединительных ящиков или приборных шкафов с клеммными рядами для подключения технологических объектов управления (ТОУ) с помощью многожильных кабелей (далее «кабелей ТОУ») к аппаратуре ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов СУ ТСС.

В процессе проектирования связей технологического оборудования с СУ ТСС была поставлена задача создать и применить для связи с ТОУ промежуточный универсальный кроссовый шкаф (КШ), однотипные экземпляры которого должны устанавливаться в помещениях СУ ТСС в непосредственной близости от аппаратуры ввода/вывода. Использование универсального КШ позволило решить проблему монтажа и штатного подключения кабелей ТОУ в сжатые сроки и при относительно небольших финансовых затратах в условиях отсутствия готовой и установленной штатной аппаратуры СУ ТСС. Кроме того, это позволило решить задачу комплексной апробации технологического оборудования, которое поступает, монтируется и вводится в эксплуатацию неравномерно. С другой стороны, проектирование универсального КШ, обеспечивающего подключение всего многообразия датчиков и исполнительных механизмов (ИМ) ТОУ во всех зданиях и сооружениях стенда, оказалось не тривиальной задачей.

Информационную поддержку процесса проектирования универсального КШ обеспечивали электронные таблицы актуальной информации (ЭТАИ), предназначенные для хранения и систематизации поступающих от Генерального проектировщика стенда данных, относящихся к СУ ТСС. В ЭТАИ хранится информация о количестве и типах датчиков и ИМ, местах

их подключения, электрических характеристиках, методах масштабирования, алгоритмах управления, сигнализации и т.д.

ЭТАИ постоянно пополняются данными не только от Генерального проектировщика, но и результатами проектно-конструкторских работ Разработчика СУ ТСС (НИТИ им. А.П. Александра). Так, на декабрь 2020 года, ЭТАИ, кроме указанного выше, содержали информацию о размещении оборудования СУ ТСС на стенде, о внутренней организации универсального КШ, о местах расположения каждого экземпляра КШ и его связях с технологическим оборудованием стенда и приборами СУ ТСС, о связях вспомогательной, тестовой аппаратуры с КШ и имитатором ТОУ на полигоне.

Первой задачей, которая требовала решения при проектировании универсального КШ, являлся выбор количества экземпляров КШ и мест их расположения на стенде. К местам расположения КШ предъявлялись следующие требования:

- размещение КШ на минимальном расстоянии от клеммных соединений ТОУ, с которыми данный КШ связан;
- возможность прокладки до КШ кабелей ТОУ, обеспечивающих подключение систем безопасности (СБ), систем нормальной эксплуатации, важных для безопасности, (СНЭВБ) и систем нормальной эксплуатации (СНЭ), при условии подключения требуемого количества датчиков и ИМ;
- возможность подключения всех датчиков и ИМ каждой отдельно взятой ТСС к одному либо минимальному числу КШ;
- наличие достаточных площадей для размещения необходимого количества КШ и приборов СУ ТСС, обеспечивающих ввод/вывод данных от/к ТОУ и связь с аппаратурой верхнего уровня;
- наличие или возможность организации электропитания достаточной мощности при необходимом числе каналов подачи питания;
- отсутствие внешних воздействующих факторов, превышающих требования к устойчивости СУ ТСС, предусмотренные в техническом задании;
- удобство проведения приемо-сдаточных испытаний и дальнейшей эксплуатации оборудования стенда.

Решению задачи размещения КШ на стенде во многом способствовали разработанные для каждой ТСС диаграммы автоматизации, отображающие расположение датчиков и ИМ конкретной ТСС в помещениях стенда и их взаимодействие согласно разработанным Генеральным проектировщиком алгоритмам функционирования данной ТСС. На рисунке 1 приведен пример диаграммы автоматизации ТСС «Система надежного технического водоснабжения» (ЗНУ по НП-001-15).

Из рисунка 1 видно, что оборудование системы надежного технического водоснабжения (СНТВС) размещено в девяти помещениях трёх блоков здания 101 и разделено на два канала безопасности, управление которыми должно осуществляться в автоматическом режиме (зеленый цвет – 1 канал, красный – 2 канал).

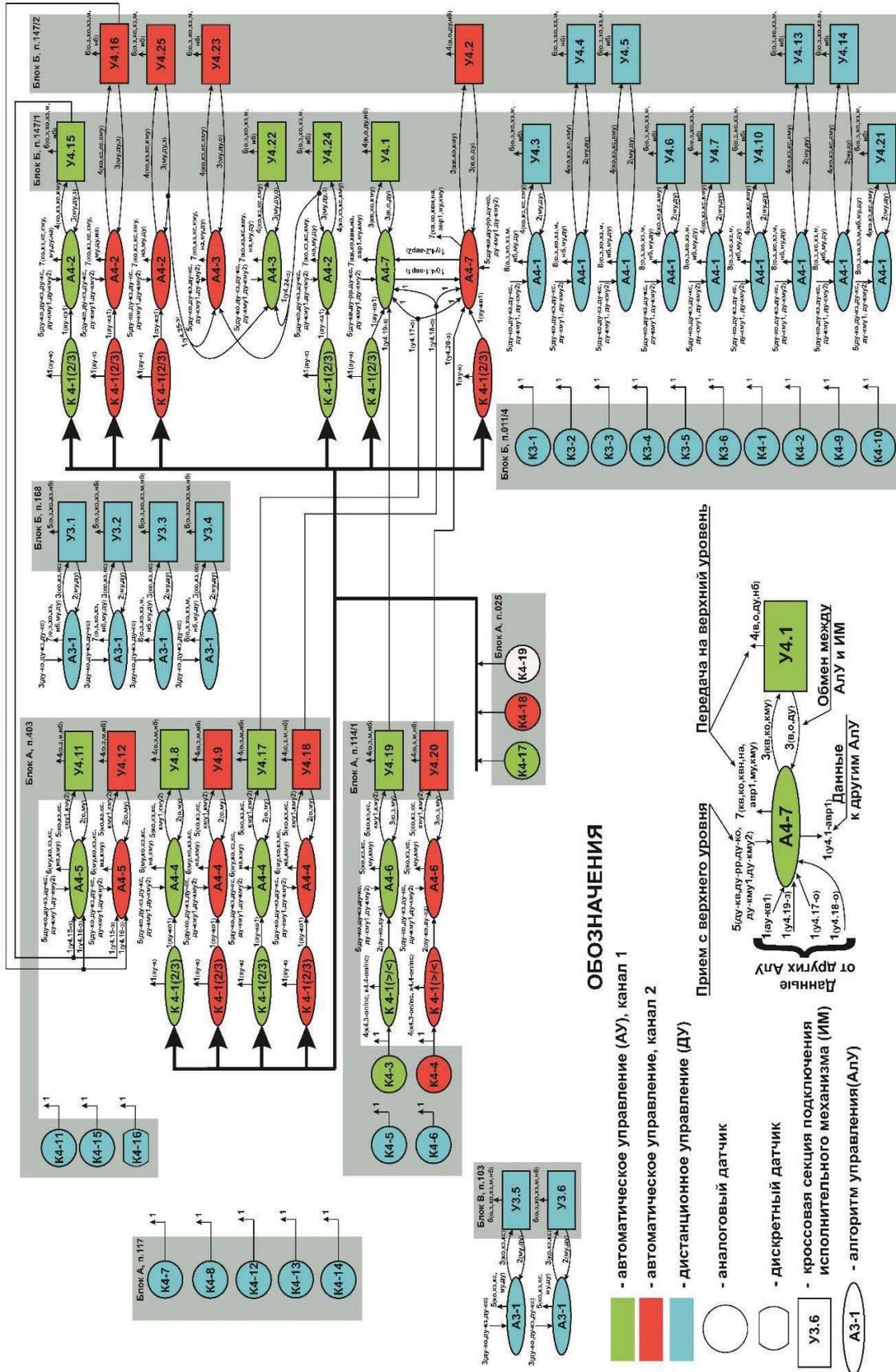


Рисунок 1 – Диаграмма автоматизации системы надёжного технического водоснабжения

Также в состав СНТВС входит оборудование, используемое только в режиме дистанционного управления (голубой цвет). Алгоритмы управления (эллипсы), которые должны быть реализованы в программируемых логических контроллерах, формируют команды управления на ИМ (прямоугольники) и получают информацию об их состоянии. Количество команд управления, их названия и количество сигналов состояния ИМ указаны рядом с соответствующими стрелками. Кроме сигналов состояния ИМ на вход алгоритмов управления может поступать информация от аналоговых (окружности) и дискретных (усеченные окружности) датчиков с выходов других алгоритмов управления, а также данные с верхнего уровня СУ ТСС. Рядом с соответствующими стрелками кроме команд управления могут быть указаны источники информации (например, У4.19) и режимы работы (АУ – автоматическое управление, ДУ – дистанционное управление).

Диаграммы автоматизации позволяют наглядно оценить места, где концентрируются алгоритмы управления, и где, следовательно, находятся наиболее удобные места расположения локальных центров обработки (ЛЦО) информации. Также на диаграммах автоматизации хорошо видны связи между ЛЦО, что позволяет формировать требования к их организации взаимодействия для эффективного управления всей технологической системой в целом. Диаграммы автоматизации послужили, в том числе, исходными данными для разработки схем автоматизации по ГОСТ 34.201.

Выбор варианта размещения КШ в помещениях стенда потребовал проведения большого объёма переговоров и согласования с представителями проектировщика и технологами, отвечающими за ту или иную ТСС. Сформулированные варианты оценивались на соответствие требованиям, предъявляемым к местам расположения КШ (см. выше), а также на предмет возможности создания универсального КШ для рассматриваемого варианта. Для оценки возможности создания требуемого КШ строилась таблица с указанием для всех экземпляров КШ: выбранных мест установки, подключаемых ИМ, аналоговых и дискретных датчиков, интерфейсов RS-485 и Ethernet. Для построения таблиц размещения использовались данные, хранящиеся в ЭТАИ. Окончательно принятый вариант размещения КШ на стенде приведен ниже в таблице. В заголовках столбцов 5–17 таблицы указаны функциональные группы (ФГ), в которые объединены все ИМ. Обозначение ФГ ИМ включает указание количества сигналов состояния ИМ и команд управления (например, «8/4»), что соответствует количеству принимаемых дискретных (DI) сигналов от ИМ и количеству передаваемых к ИМ дискретных (DO) сигналов. Объединение ИМ в ФГ стало возможным после принятия мер по унификации электрических характеристик сигналов DI и DO и выбору для аппаратуры ввода/вывода СУ ТСС таких входных/выходных устройств, которые бы обеспечивали ввод/вывод сигналов для унифицированного диапазона. Были приняты меры и для унификации выходных сигналов аналоговых датчиков, которые теперь представлены на стенде только диапазоном 420 мА.

Таблица
Размещение КШ на стенде с указанием подключаемых ИМ, аналоговых и дискретных датчиков, интерфейсов RS-485 и Ethernet

№	Здание, блок	Пом.	Обозначение КШ	ИМ																Ввод/Вывод					Кабелей вв/выв			
				Лицевая сторона КШ								Тыльная сторона КШ								Всего	DI	DO	DI вне ИМ	DO вне ИМ		AI	RS	Eth
				Фрагменты клеммных рядов (ФКР) в КШ																								
				ФГ ИМ																								
				8/4	8/3	7/5	7/3	6/3	5/5	5/2	4/3	4/2	4/1	3/3	3/2	2/2	2/1											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26			
1		341	11HZ00Z03	16		1			8									25	175	91	5	179	28	1	75			
2	101, А	215/2	11HZ00Z02	27							2						29	224	85	22	246	14			77			
3		123	11HZ00Z01														-	-		26	26	30	2		22			
4		410	12HZ00Z03											16	28		44	104	88	40	144	11			71			
5		168	12HZ00Z02	2		2											4	30	12	25	55	10			21			
6		310/1	12HZ10Z01	13		2				10			12	18			55	232	163	93	324	26			155			
7	101, Б	310/2	12HZ20Z01	12		2				10			12	17			53	237	157	74	311	26			143			
8		310/2	12HZ00Z01	3													3	24	9	27	51	4			12			
9		441	12HZ00Z04																									
10		103/2	13HZ00Z02	7					1			2					10	69	27	16	85	18			39			
11	101, Б	103/2	13HZ00Z01	5			1										6	46	18	14	60	25			30			
12	104	128	14HZ00Z01				16		3		12					14	45	183	90	-	186				85			
13	117	ПУ	17HZ00Z01	12		5					4					21	147	59	-	147	38				49			
14	121Б		20HZ00Z01													-	-	-	-	-	-	6			6			
15	122/1		21HZ10Z01													-	-	-	-	-	-				1			
16	122/2		22HZ20Z01													-	-	-	-	-	-				1			
17			ИТОГО	25	72	4	8	17	8	4	20	20	24	51	28	14	295	1471	799	342	1814	230	9	2	787			

Выполнение работ по унификации сигналов, определение числа ФГ и оценка количества в них ИМ позволили выбрать такие фрагменты клеммных рядов (ФКР), которые при установке их в КШ обеспечивают типовое подключение любого ИМ станда. Примеры ФКР, используемых на стенде, приведены на рисунке 2. ФКР позволяет подключить ИМ, количество входов/выходов которого не превышает значений, указанных в названии соответствующей ФГ. В данном случае к ФКР для ФГ «8/5» (далее «ФКР_8/5») может быть подключен любой исполнительный механизм с количеством сигналов состояния не более 8 и команд управления не более 5. Для подключения отдельных сигналов DI, не входящих в состав одного ИМ, используются части ФКР, помеченные на рисунке 2 символами «DI N», а для подключения аналоговых сигналов AI – части ФКР, помеченные символами «IO N». В таблице для каждого КШ указаны места установки (столбцы 2 и 3), обозначение (ст. 4) и приведено количество подключаемых ИМ (ст. 18) с указанием ФГ (ст. 5-17), к которым эти ИМ относятся, число подключаемых аналоговых (ст. 23) и дискретных (ст. 22) датчиков, дискретных выходов (ст. 20) и интерфейсов RS-485 (ст. 24) и Ethernet (ст. 25), а также общее число подводимых к КШ кабелей (ст. 26).

ФКР в КШ собираются в клеммные ряды, которые располагаются друг над другом с двух сторон – лицевой и тыльной. Структура универсального КШ приведена на рисунке 3.

На лицевой стороне КШ установлены 7 клеммных рядов. Первые 4 ряда содержат по 4 ФКР_8/5, 3 оставшихся – по 4 ФКР_8/4. На тыльной стороне установлены 6 клеммных рядов, первые 2 из которых содержат по 2 ФКР_4/3 и 5 ФКР_4/2, а 4 оставшихся – по 8 ФКР_3/2.

Клеммные ряды лицевой стороны предназначены для подключения ИМ, относящихся к ФГ, указанным в столбцах 5–12 таблицы, а клеммные ряды тыльной стороны – для ИМ, относящихся к ФГ, указанным в столбцах 13–17.

В состав универсального КШ входят внешние разъемы, предназначенные для подключения аппаратуры ввода/вывода. Внешние разъемы соединены с клеммными рядами так, чтобы обеспечивалось эффективное использование возможностей аппаратуры ввода/вывода СУ ТСС. В нижней части рисунка 3 отражены связи ФКР с внешними разъемами и показано распределение контактов разъемов для лицевой и тыльной сторон. В КШ предусмотрен контроль правильности штатного подключения кабелей к внешним разъемам. ФКР_4/3, ФКР_4/2 и ФКР_3/2 имеют такую особенность, что группы контактов «IO1, IO2» могут использоваться как для организации дискретного вывода (DO), так и для подключения аналоговых датчиков (AI). При этом для дискретного вывода и аналогового ввода используется пара параллельно включенных внешних разъемов разного типа: «Розетка» для DO и «Вилка» для AI. К СУ ТСС через одну такую пару параллельных внешних разъемов, имеющих по 40 контактов каждый, может быть подключено либо до 16-и дискретных выходов, либо до 8-и аналоговых входов.

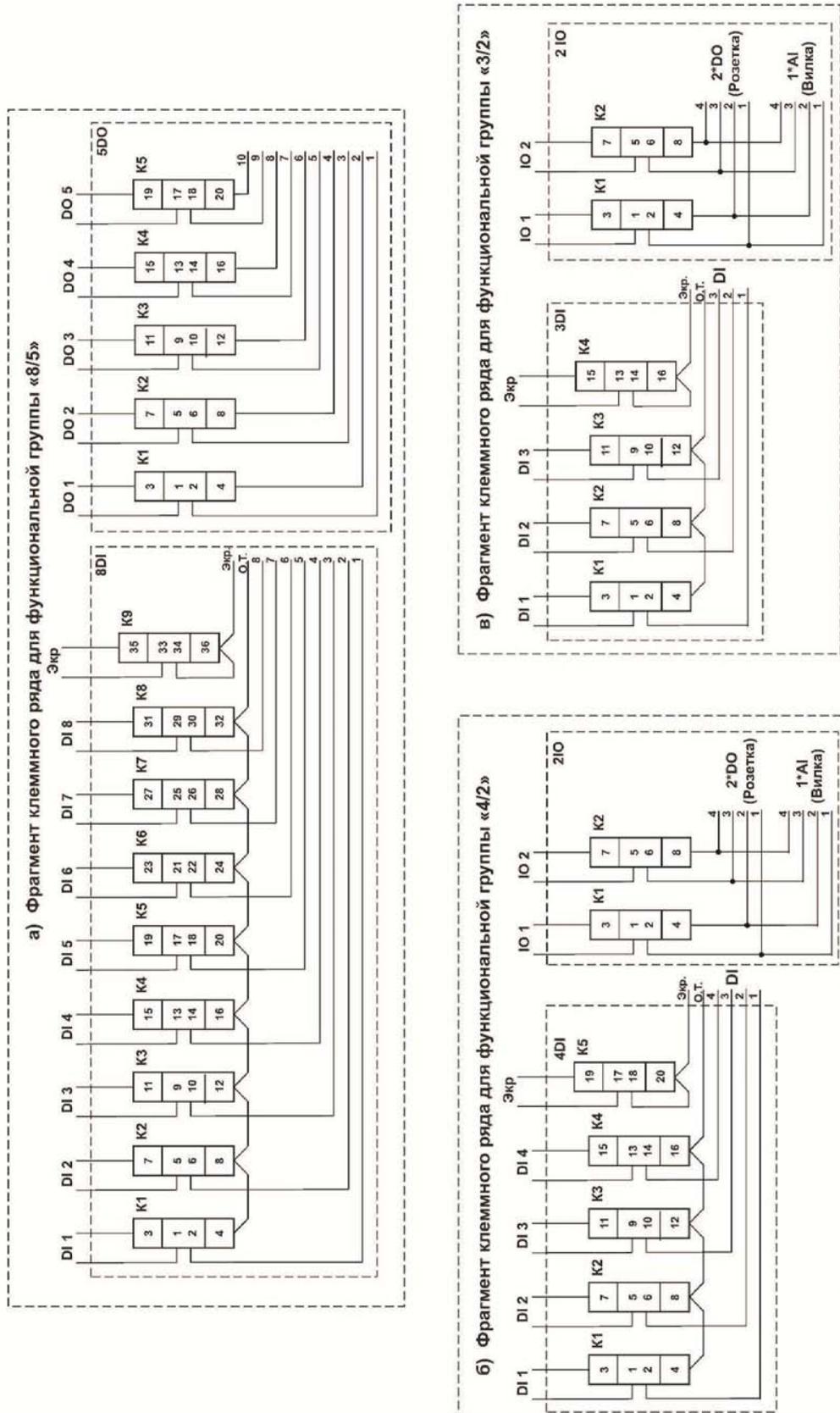


Рисунок 2 – Примеры фрагментов клеммных рядов для функциональных групп «8/5» (а), «4/2» (б) и «3/2» (в)

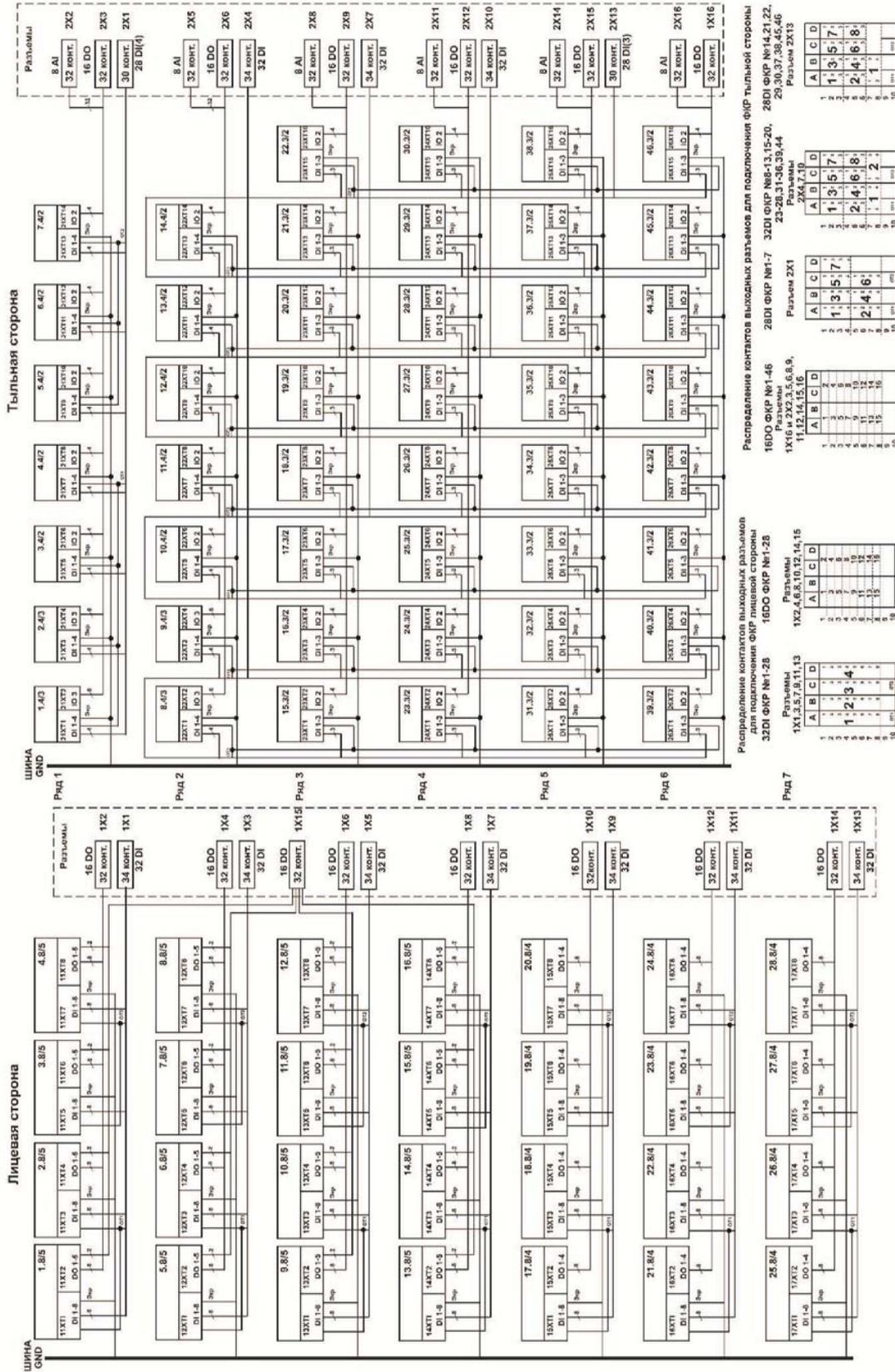


Рисунок 3 – Структура универсального кроссового шкафа

Созданная конструкция универсального КШ предназначена для реализации типовых каналов подключения ТОВ к СУ ТСС. Структурные схемы типовых каналов ввода аналоговых и дискретных сигналов и каналов дискретного вывода, которые реализованы с применением данного КШ, представлены на рисунках 4–7.

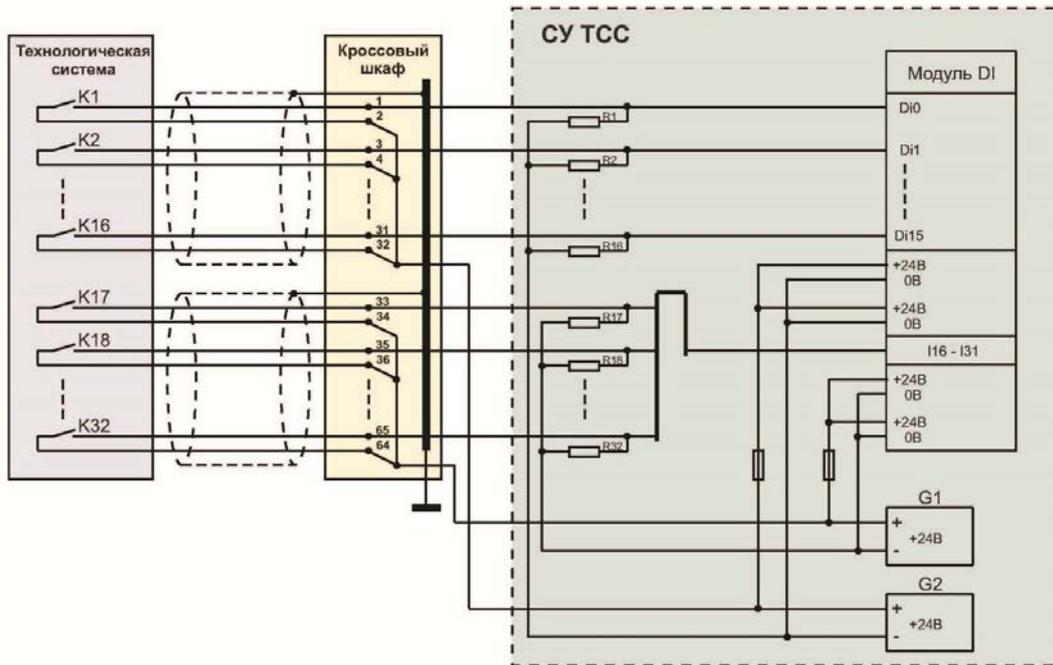


Рисунок 4 – Структура типовых каналов дискретного ввода

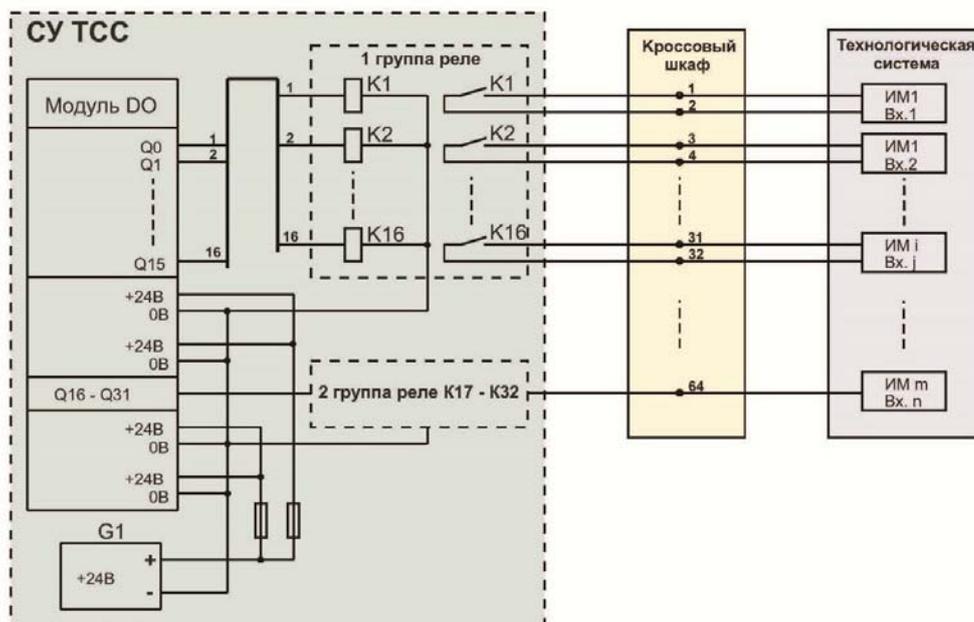


Рисунок 5 – Структура типовых каналов дискретного вывода

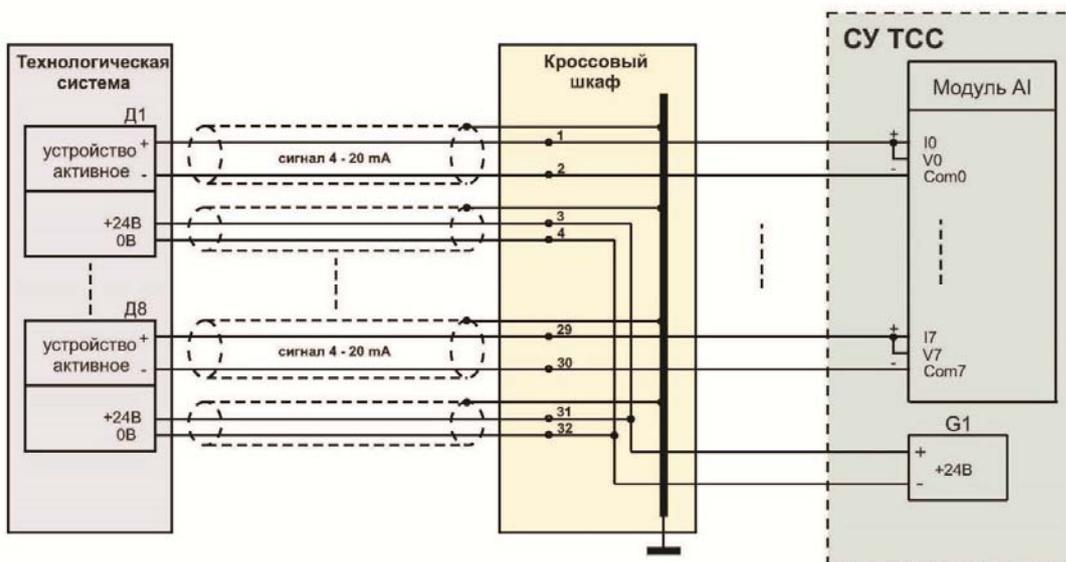


Рисунок 6 – Структура типовых каналов аналогового ввода (активное устройство)

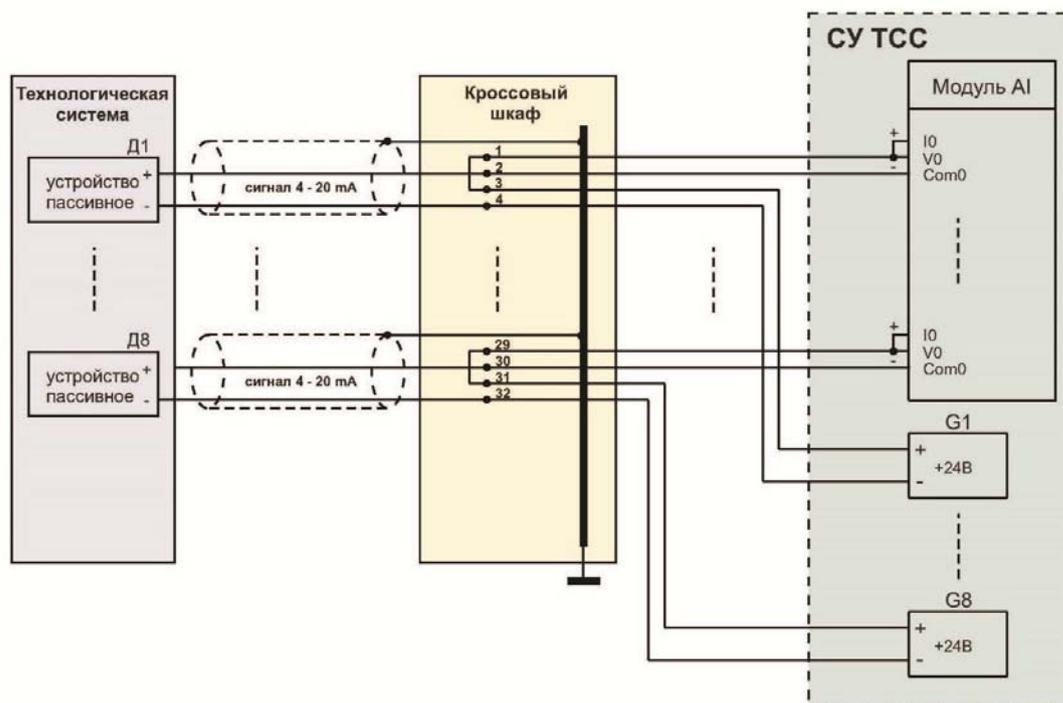


Рисунок 7 – Структура типовых каналов аналогового ввода (пассивное устройство)

Конструкция КШ позволяет организовать подключение технологического оборудования таким образом, чтобы сигналы ввода/вывода, относящиеся к одной единице оборудования (исполнительному механизму), были собраны в одном месте клеммного ряда и соответственно промаркированы, что существенно облегчает работу эксплуатационного персонала.

Процесс подключения кабелей ТОУ к КШ начинается с заполнения бланка подключений. На рисунке 8 приведен фрагмент (первые три ряда на лицевой стороне КШ) заполненного бланка подключений.

Действия по заполнению бланка выполняет специалист – технолог, который выбирает места подключения исполнительных механизмов и датчиков внутри КШ, объединяя эти места в компактные функциональные зоны для удобства выполнения планируемых с данным оборудованием работ.

При заполнении бланка подключений указывается:

- место установки КШ и обозначение КШ (соответствует значениям столбцов 2–4 таблицы);
- для выбранного ФКР (например, ряд 1, клеммные подряды 11ХТ1 и 11ХТ2) обозначение подключаемого ИМ (в примере, «11ТВ10S01» – относится к ФГ 8/3); место расположения клеммной коробки («Бл. А, пом. 215/1, КРУЗА») и её обозначение («11LA02Z01»); номера кабелей («203» и «253»), подводимых от указанной клеммной коробки к выбранному ФКР;
- зона используемых контактов клеммных подрядов, которая отображается жирной горизонтальной линией, перекрывающей выбранные контакты.

Подключение подводимых кабелей, как это видно из рисунка 8, осуществляется к нечетным контактам ФКР. Четные контакты используются для организации внутреннего монтажа КШ, что в бланке подключений отображается в обозначениях над четными контактами. Например, согласно рисунку 8 контакт «2» клеммного подряда «11ХТ1» связан с контактом «А1» выходного разъема «1Х1», а контакты «4, 8, 12, ... , 32» связаны с контактом «А10», выполняющим роль «общей точки» для всех сигналов DI подряда «11ХТ1». Из рисунка 8 следует, что для подключения экранов кабелей предназначены контакты «33» и «35», которые связаны с «Шинной» (GND), размещенной в КШ и предназначенной для организации заземления.

Для эффективной организации связи ТОУ с аппаратурой ввода/вывода СУ ТСС подключение кабелей ТОУ к КШ должно отвечать следующим требованиям:

- в любом выходном разъеме КШ должны быть собраны сигналы, предназначенные для связи только с одним и тем же прибором ввода/вывода СУ ТСС;
- в любом выходном разъеме КШ должны быть собраны сигналы, относящиеся только к одной ТСС;
- должно использоваться минимальное число выходных разъемов;
- каждый отдельный кабель ТОУ должен подключаться к ФКР только одного клеммного ряда.

В случае, если перечисленные требования вступают в противоречие друг с другом, наибольший приоритет имеет требование, указанное первым.

Работы, выполненные при разработке аппаратуры нижнего уровня для системы управления технологическим оборудованием стенда, позволили выявить ряд особенностей создания подобной аппаратуры. Учёт этих особенностей и выдвигаемых ими требований к аппаратуре способствовали эффективному решению задачи создания СУ ТСС.

4



4. Нейтронно-физические и теплофизические исследования

НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

А.В. Ельшин

Представленные в настоящем годовом отчёте материалы о работах отдела нейтронно-физических исследований демонстрируют развитие в отделе инструментальных средств как для расчётного, так и экспериментального исследования нейтронно-физических характеристик реакторных установок (РУ) на стендах-прототипах института.

К сожалению, в настоящее время в стране отсутствует серийное производство аппаратуры контроля плотности потока нейтронов для ЯЭУ, поэтому достижением отдела и института в этом направлении является собственная разработка широкодиапазонного линейного импульсно-токового измерителя сигнала с детекторов нейтронов. В статье «Измеритель линейный импульсно-токовый «Фаворит» представлен разработанный в НИТИ прибор «Фаворит», предназначенный для обеспечения контроля плотности потока нейтронов на протяжении всего жизненного цикла ЯЭУ (в том числе при проведении физических пусков РУ и перегрузок активных зон). Разработанное внешнее специальное программное обеспечение обеспечивает расчёт реактивности РУ, что позволяет использовать измеритель «Фаворит» для проведения измерений нейтронно-физических характеристик РУ. Разработанный прибор «Фаворит» прошел все необходимые виды испытаний и внесен в государственный реестр средств измерений.

Имеющиеся в ОНФИ программные средства собственной разработки для расчёта нейтронно-физических характеристик водо-водяных РУ транспортного назначения применяются и для расчётов энергетических водо-водяных реакторов. Это направление представлено в материале «Развитие комплекса программ САПФИР_95&RC_ВВЭР. Программа-оболочка для подготовки расчётных моделей и выполнения проектных стационарных нейтронно-физических расчётов активных зон РУ ВВЭР».

Разработанные программы, опирающиеся на отечественные методы и алгоритмы, имеют значительный потенциал по расширению области своего применения, в частности, могут быть использованы для расчётов реакторов с жидкометаллическим теплоносителем, результаты, достигнутые в этом направлении, приведены в статье «Разработка расчётной модели нейтронно-физических процессов РУ стенда КМ-1».

Результаты апробации указанных программных средств на экспериментальных данных, получаемых в институте, приведены в статье «Апробация расчётной модели выгорания на основе результатов гамма-сканирования, полученных в рамках послереакторных исследований отработавших ТВС стенда КВ-1». Полученные результаты позволяют расширять номенклатуру и уточнять погрешности рассчитываемых характеристик.

4.1 Разработка расчётной модели нейтронно-физических процессов РУ стенда КМ-1

В.Г. Артемов, Д.Ю. Бессонов, А.С. Иванов, П.А. Михеев

Особенностью реакторной установки (РУ) стенда КМ-1 является использование жидкометаллического теплоносителя. Эксперименты на стенде представляют собой уникальный материал для верификации расчётных моделей для РУ с жидкометаллическим теплоносителем. В 2020 году выполнены работы по моделированию нейтронно-физических процессов РУ стенда КМ-1 с использованием комплекса программ (КП) САПФИР_РФ&РС.

Краткая характеристика расчётной модели

Комплекс программ САПФИР_РФ&РС включает модифицированную версию программы для расчёта спектра нейтронов САПФИР_ВВР95 [1] – САПФИР_РФ [2] и программу РС для расчёта энерговыделения в активных зонах реакторов транспортного назначения [3].

Расчёт эффективных характеристик ячеек и подготовка библиотеки констант для уравнения диффузии нейтронов, решаемого программой РС, проводился по программе САПФИР_РФ с использованием многогрупповой рабочей библиотеки, подготовленной на основе файлов оцененных ядерных данных библиотеки РОСФОНД.

Подготовка многогрупповых характеристик ячеек (коэффициентов уравнения диффузии нейтронов) осуществлялась в два этапа. На первом этапе на основе файлов оцененных ядерных данных с учётом специфики активной зоны (а.з.) была подготовлена многогрупповая (25 эпитепловых и 40 тепловых групп) рабочая библиотека для программы САПФИР_РФ. На втором этапе с использованием программы САПФИР_РФ в кассетах а.з. и элементах отражателя рассчитывался многогрупповый спектр нейтронов, с весом которого усреднялись сечения по энергии и по пространственным областям – эффективным зонам, соответствующим кассетам и фрагментам отражателя.

Программа РС предназначена для расчёта полей нейтронов в трёхмерной модели реактора в многогрупповом диффузионном приближении. Ячейки конечно-разностной схемы в

плане имеют вид треугольника. В программе RC реализован расчёт потвэльного энерговыделения в а.з. методом суперпозиции микрораспределения плотности потока нейтронов в кассете и макрораспределения плотности потока в а.з. реактора.

Для верификации моделей расчёта использовалась программа MCU-FR [4], аттестованная для расчёта быстрых реакторов.

Расчёт малогрупповых характеристик ячеек кассет активной зоны и отражателя

Модель для расчёта пространственно-энергетического распределения нейтронов в кассетах отражает реальную геометрию. Созданы модели для всех типов конструкций компенсирующих стержней и шести вариантов обогащения топлива. При подготовке модели проведено разбиение на регистрационные зоны, для которых в процессе решения задачи вычисляются плотности потоки нейтронов и другие функционалы.

Кроме интегральных характеристик кассеты с помощью программы САПФИР_РФ для каждого твэла кассеты рассчитываются скорости реакций деления, которые используются программой RC для расчёта потвэльного энерговыделения в активной зоне реактора.

Для расчёта нейтронно-физических характеристик и фрагментов отражателя разработана модель, представляющая гомогенную активную зону и отражатель с детальным разбиением на регистрационные зоны. При расчёте малогрупповых характеристик фрагментов отражателя выделяются пять областей с учётом изменения состава и спектра нейтронов при удалении от центра активной зоны.

Модель расчёта потвэльного энерговыделения в программе RC

Модель расчёта потвэльного энерговыделения ориентирована на методику, реализованную и отработанную в КП САПФИР_РФ&RC при моделировании реакторов с тепловым спектром нейтронов [5].

Применительно к рассматриваемой задаче основными трудностями являются учёт геометрических особенностей активной зоны и распределение твэлов с различным обогащением по активной зоне в реакторной программе RC, использующей регулярную треугольную расчётную сетку. Разработанная модель расчёта активной зоны использует разбиение шестигранников, образующих активную зону, на 24 треугольника с заданием физических свойств в каждом из них. Основная задача такой разбивки – соблюсти соотношение топлива с различным обогащением.

На рисунке 1 представлена картограмма реактора, используемая в расчётной модели программы RC. Модель состоит из девятидесяти одного расчётного канала, тридцать семь из которых образуют активную зону. Серым цветом выделены каналы отражателя. Числами на картограмме обозначена нумерация каналов а.з.

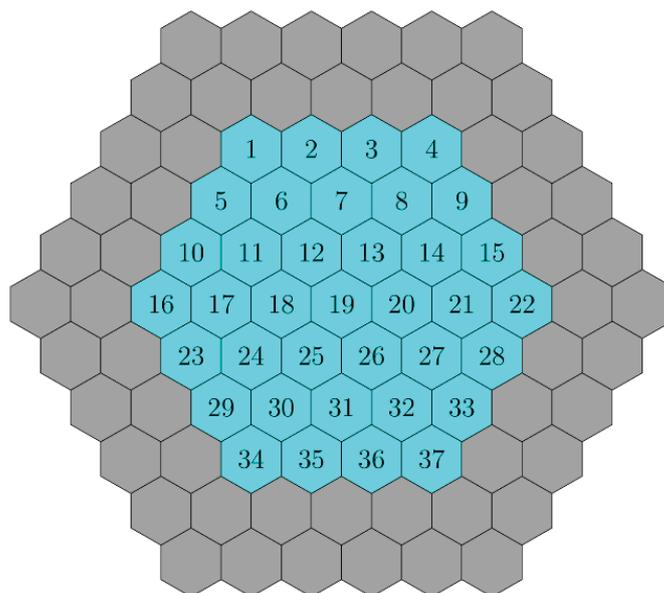


Рисунок 1 – Картограмма модели реактора

Реализованная в программе RC методика расчёта потвэльного энерговыделения основывается на принципе суперпозиции микро- и макропотоков нейтронов. Приставки «микро-» и «макро-» используются здесь для идентификации нейтронных потоков в моделях программы САПФИР_РФ и программы RC, соответственно.

В рамках разработанного подхода при расчёте конкретного режима последовательно выполняются следующие операции.

В процессе подготовки нейтронно-физических характеристик ТВС программа САПФИР_РФ, учитывая особенности конструкции ТВС, рассчитывает плотность потока нейтронов (далее, для краткости, поток нейтронов) в каждом твэле на основе решения уравнения переноса нейтронов в многогрупповом приближении. С использованием значений для вычисленного потока нейтронов рассчитываются массивы относительных распределений скоростей деления в твэлах.

В программе RC решается уравнение диффузии нейтронов для всей активной зоны в малогрупповом приближении по энергии нейтронов. Поток нейтронов рассчитывается на конечно-разностной сетке с 24-мя узлами на кассету в плане.

Расчёты энерговыделения выполнены по программе RC в 16-групповом приближении по энергии нейтронов.

Тестирование модели расчёта потвэльного энерговыделения

На рисунках 2 и 3 представлены результаты сравнения распределения энерговыделения в центральной ТВС, рассчитанного по программе RC, с распределением энерговыделения, рассчитанным по программе MCU-FR.

4. Нейтронно-физические и теплофизические исследования

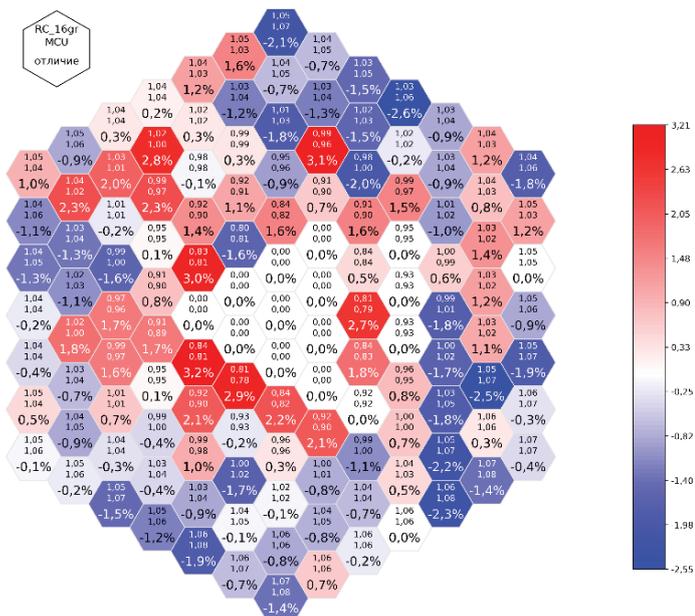


Рисунок 2 – Потвэльное распределение энерговыделения в центральной ТВС при введенных органах регулирования

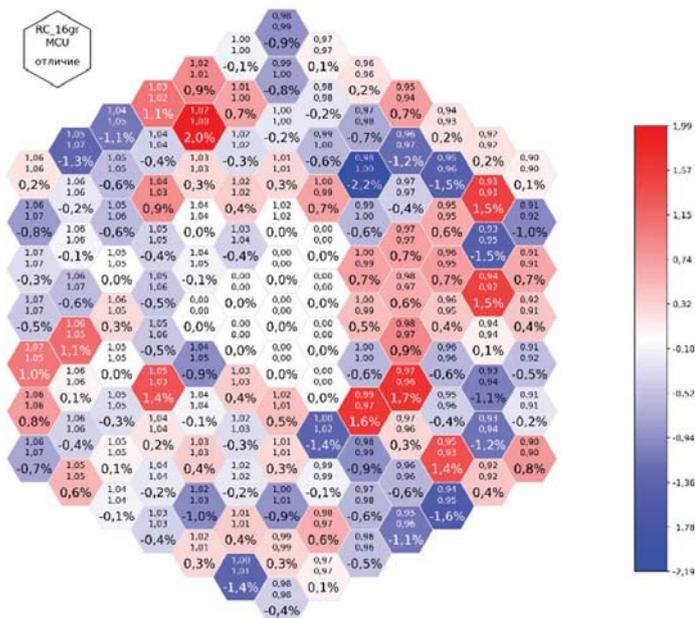


Рисунок 3 – Потвэльное распределение энерговыделения в центральной ТВС при выведенных органах регулирования

Результаты апробации модели при расчёте потвэльного энерговыделения в течение кампании

Поля относительного энерговыделения на начало и конец кампании представлены на рисунках 4, 5.

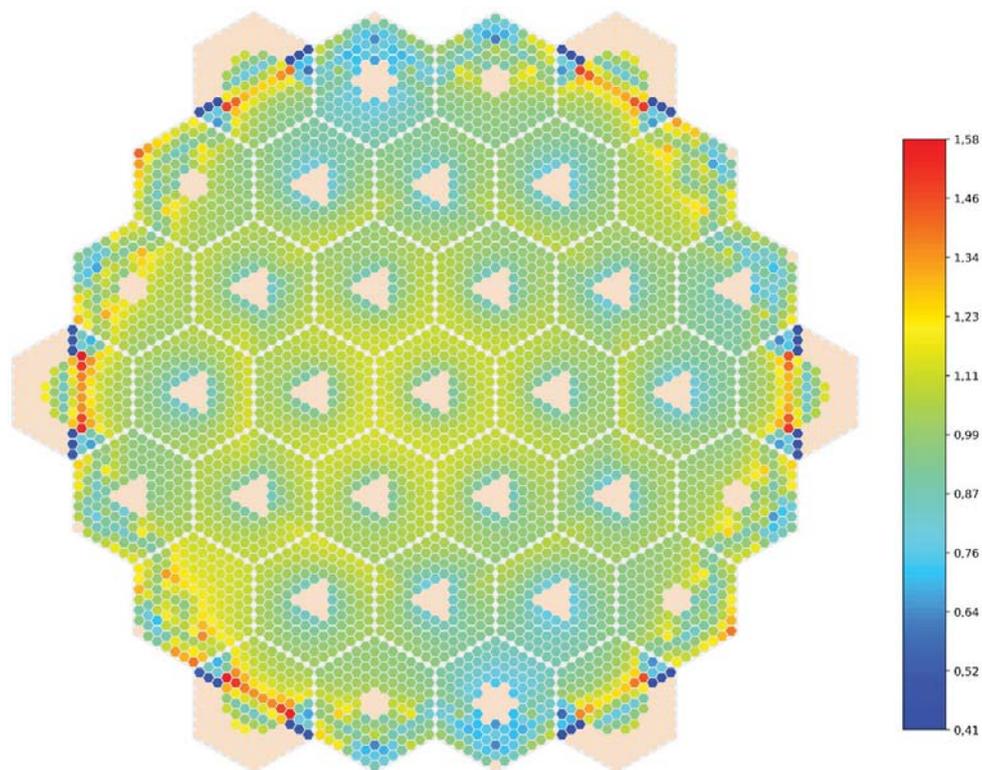


Рисунок 4 – Потвзльное энерговывделение при энерговыработке 1,5 %

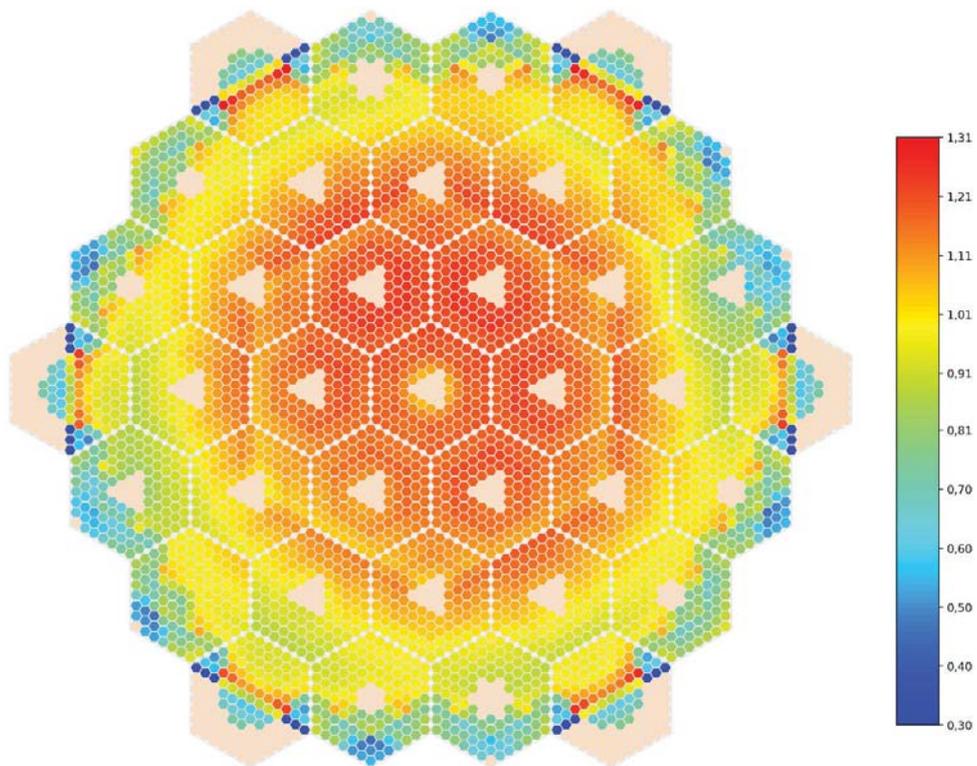


Рисунок 5 – Потвзльное энерговывделение при энерговыработке 82 %

Приведенные картограммы иллюстрируют влияние органов компенсации реактивности на распределение энерговыделения в а.з. Просматривается явная тенденция увеличения энерговыделения в центральных ТВС вследствие извлечения компенсирующих стержней по мере выгорания топлива.

Заключение

Результаты разработки и апробирования расчётной модели показали перспективность использования САПФИР_РФ&РС для моделирования потвального энерговыделения в ТВС активной зоны ЯЭУ стенда КМ-1.

Литература

1. Программа САПФИР_VBP95 с библиотекой констант БНАБ-78/С-95: Аттестационный паспорт ПС № 260 от 23.09.2009.
2. Иванов А.С. Модернизация нейтронных библиотек и программы САПФИР_95, предназначенной для расчёта ячеек реактор / А.С. Иванов, А.С. Карпов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные констант. – 2018. – Вып. 1. – С. 27–34.
3. Комплекс программ САПФИР_VBP95-RC: Аттестационный паспорт ПС № 261 от 23.09.2009.
4. Верификация и валидация программы для ЭВМ “MCU-FR”, инв. № 4953-Н.4х.241.9Б.18.1012-1/ВО-1 / ИБРАЭ РАН; НИЦ «Курчатовский институт». – Москва, 2018. – С. 406
5. Анализ температурного состояния твэлов на основе сопряжённых нейтронно-физического и теплогидравлического расчётов / В.Г. Артемов, Л.М. Артемова, В.Г. Коротаев, П.А. Михеев, Ю.П. Шемаев // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные констант. – 2014. – Вып. 4.

4.2 Развитие комплекса программ САПФИР_95&RC_VBЭР.

Программа-оболочка для подготовки расчётных моделей и выполнения проектных стационарных нейтронно-физических расчётов активных зон РУ ВВЭР

Л.М. Артемова, А.Н. Кузнецов

Программный комплекс САПФИР_95&RC_VBЭР разработан в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». Комплекс включает программу САПФИР_95.1 [1], предназначенную для спектральных расчётов ячеек, и программу САПФИР_95&RC_VBЭР.2 (далее RC) [2], предназначенную для реакторных расчётов. Программы верифицированы и аттестованы в Ростехнадзоре для расчётного моделирования активных зон (далее а.з.) реакторов ВВЭР.

Программный комплекс передан в АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» и используется Главным Конструктором РУ с ВВЭР при проведении нейтронно-физического расчётного обоснования безопасности большинства действующих и проектируемых РУ с ВВЭР. Одна из важных дополнительных функций комплекса – подготовка нейтронно-физических моделей для теплогидравлических кодов ТРАП КС [3] и РК КОРСАР [4], с помощью которых Главный Конструктор проводит расчётное обоснование безопасности РУ в динамических режимах.

Для облегчения формирования входных файлов для программы RC был разработан вспомогательный интерфейс – программа-оболочка (далее ПО) RC_monitor [5], которая также была передана в АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» в составе комплекса программ САПФИР_95&RC в 2002 году, и с того момента работ по её модернизации не проводилось.

В связи с совершенствованием и развитием алгоритмов программы RC, а также с учётом изменившейся номенклатуры и технологии проведения расчётов, выполняемых в АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», программа-оболочка устарела и перестала соответствовать предъявляемым к ней требованиям. Кроме того, в результате быстрого развития информационных технологий в последние десятилетия и создания новых программных платформ, появилась возможность для создания пользовательского интерфейса, отвечающего современным требованиям как к графическому дизайну продукта, так и к возможностям автоматизации и визуализации всего процесса выполнения проектных нейтронно-физических расчётов. После проведения консультаций со специалистами АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» было принято решение о создании нового программного продукта, который должен соответствовать современной практике проведения проектных расчётов Главного конструктора и обладать возможностью расширения функционала в дальнейшем. Результатом работ стало создание Программы-оболочки (ПО) Model_Creator_GP [6].

Работы по разработке новой ПО были выполнены в рамках договора с АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС». Перед ОНФИ НИТИ были поставлены следующие задачи:

- а) облегчение подготовки файлов исходных данных для расчёта по программе RC, включая функцию формирования расчётной нейтронно-физической модели а.з.;
- б) контроль стабильности при запуске RC, выдача диагностических сообщений и рекомендаций пользователю;
- в) улучшение формы визуализации программной оболочкой результатов расчёта в графическом виде на экране монитора, с возможностью сохранения графиков и картограмм в растровом и векторном форматах;
- г) оптимизация подготовки нейтронно-физических моделей и файлов входных данных для блока нейтронной кинетики теплогидравлических кодов ТРАП и КОРСАР.

Программа-оболочка Model_Creator_GP

Программа-оболочка Model_Creator_GP представляет собой программный интерфейс, который организует взаимодействие пользователя с программой RC. В удобном и понятном для пользователя виде, через систему рабочих окон и средств навигации, ПО сопровождает весь процесс выполнения стандартных типовых проектных нейтронно-физических расчётов а.з., начиная от разработки нейтронно-физических моделей РУ до визуализации полученных результатов расчётов в виде графиков, таблиц и картограмм.

При формировании расчётной модели а.з. ПО контролирует полноту и корректность введенных данных. Это позволяет свести к минимуму количество ошибок, неизбежных при разработке сложных нейтронно-физических моделей вручную, что экономит силы и время расчётчиков и сводит выполнение проектных расчётов к инженерному уровню. В рамках ПО используется своя система понятий, которая диктуется заложенной при её разработке идеологией.

Результатом работы программы-оболочки является проект, который формируется для а.з. конкретной реакторной установки. Проект представляет собой совокупность текстовых и бинарных файлов, в которых собрана информация для нескольких топливных загрузок а.з.:

- файлы с исходными данными для нейтронно-физической и теплогидравлической моделей а.з.;
- картограммы загрузок и перегрузок а.з.;
- библиотеки малогрупповых констант для уравнения диффузии нейтронов;
- файлы со всеми настройками для расчётов нескольких типовых режимов;
- файлы, полученные в результате расчётов.

Для хранения информации и организации расчётов программа-оболочка создает систему рабочих директорий, обеспечивая автоматический доступ к хранящимся в них файлам.

При создании проекта нейтронно-физической модели а.з. программа-оболочка использует шаблоны – бинарные файлы, в которых хранятся заготовки частей проекта. Проект формируется из нескольких частей: константной, геометрической, физической части, части, описывающей систему регулирования РУ (органы регулирования (ОР) системы управления защитой (СУЗ), и части, содержащей настройки проекта. В шаблоне настроек хранятся основные параметры данной РУ, которые остаются неизменными на протяжении всех кампаний реактора. Шаблоны также формируются средствами программы-оболочки.

Разделение данных на шаблон и проект позволяет упростить подготовку нейтронно-физических моделей РУ. Приступая к созданию нового проекта РУ, пользователю достаточно выбрать подходящий шаблон и задать только изменившиеся параметры, которых обычно бывает немного.

Разработанная система рабочих окон позволяет визуализировать весь процесс разработки расчётных моделей. Пример рабочего окна для формирования картограммы загрузки а.з. показан на рисунке 1.

На картограмме, представленной в средней части окна, для каждой ТВС указаны её тип в текущей загрузке, год нахождения в а.з. и место из которого она переставлена (для кассет второй и последующих загрузок). В таблице справа приведена схема перегрузки кассет на следующую кампанию реактора.

Основная функция программы-оболочки – организация и проведение типовых расчётов для ряда последовательных загрузок данной а.з. Для этого с помощью средств программы-оболочки пользователь создает расчётный пакет – набор расчётных режимов, которые в терминологии программы-оболочки называются шагами пакета. Для каждого шага пакета в каждой кампании реактора создается своя рабочая директория со всеми необходимыми файлами входных данных, в которых содержатся настройки и управляющие параметры для данного конкретного режима.

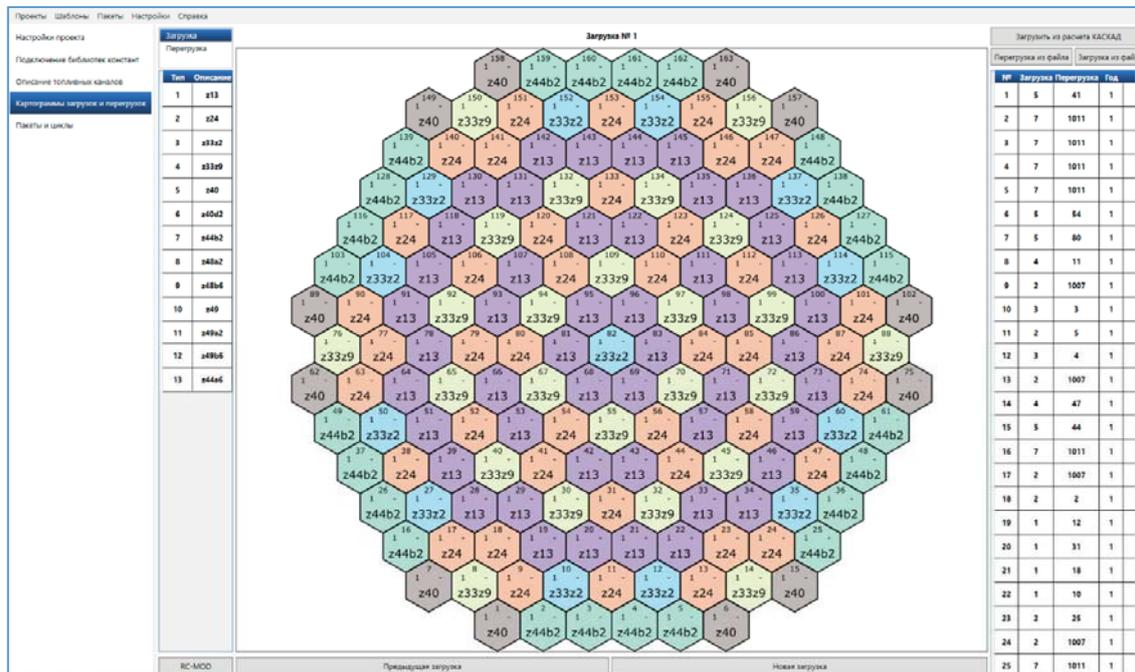


Рисунок 1 – Рабочее окно для формирования картограммы загрузки а.з.

Добавление функционала в виде пакетов позволяет одновременно решать несколько задач. Например, для одного проекта РУ с ВВЭР можно вести анализ изменения нейтронно-физических характеристик а.з. для стандартной борной кампании в одном пакете и параллельно проводить аналогичный расчёты с кампанией реактора, продленной за счет мощностного эффекта – в другом пакете. Средства визуализации, встроенные в ПО, дают возможность оперативно сравнивать и анализировать полученные результаты.

Программа-оболочка ориентирована на моделирование следующих стандартных расчётных режимов:

- расчёт проектной кампании реактора (в том числе, с учётом продления борной кампании за счет работы на пониженных параметрах);
- моделирование полей энерговыделения (в том числе потвального энерговыделения) по проектной кампании реактора;
- моделирование полей энерговыделения (в том числе потвального энерговыделения) по эксплуатационной кампании реактора;
- расчёт эффективности аварийной защиты (АЗ) и групп ОР СУЗ;
- расчёт веса АЗ;
- подготовка нейтронно-физической модели а.з. для теплогидравлических кодов (РК КОРСАР и ТРАП-КС);
- расчёт отдельных состояний (по выбору пользователя).

Средства программы-оболочки автоматизируют подготовку входных файлов для переносных выше режимов, предлагая пользователю для изменения минимальный необходимый набор управляющих параметров. Все полученные результаты сохраняются в автоматически созданной унифицированной структуре директорий.

Наполнение расчётных пакетов, как правило, консервативно при выполнении стандартных проектных расчётов. Сформированные один раз заготовки пакетов доступны для использования при создании новых проектов. Таким образом, разработанная система шаблонов и пакетов позволяет значительно сократить время подготовки и проведения трудоемких проектных расчётов.

Одним из требований заказчика являлась оптимизация подготовки нейтронно-физической модели а.з. для проведения динамического расчёта по теплогидравлическим кодам ТРАП КС и РК КОРСАР. Обе программы используют один и тот же блок расчёта распределённой нейтронной кинетики – КАРТА. Программный блок (далее ПБ) КАРТА имеет свои ограничения при описании структуры и материальных свойств а.з., что ставит перед пользователем задачу формирования упрощенной модели а.з. (по отношению к модели, подготовленной для программы RC), которая, тем не менее, позволяет получить удовлетворительное распределение энерговыделения. Эта работа автоматизирована в программе-оболочке. Упрощенная модель апробируется в расчётах по программе RC. С помощью средств визуализации результатов, встроенных в ПО, пользователь может провести анализ полей энерговыделения, полученных на основе детальной и упрощенной моделей. Пример рабочего окна для валидации нейтронно-физической модели для ПБ КАРТА приведен на рисунке 2.

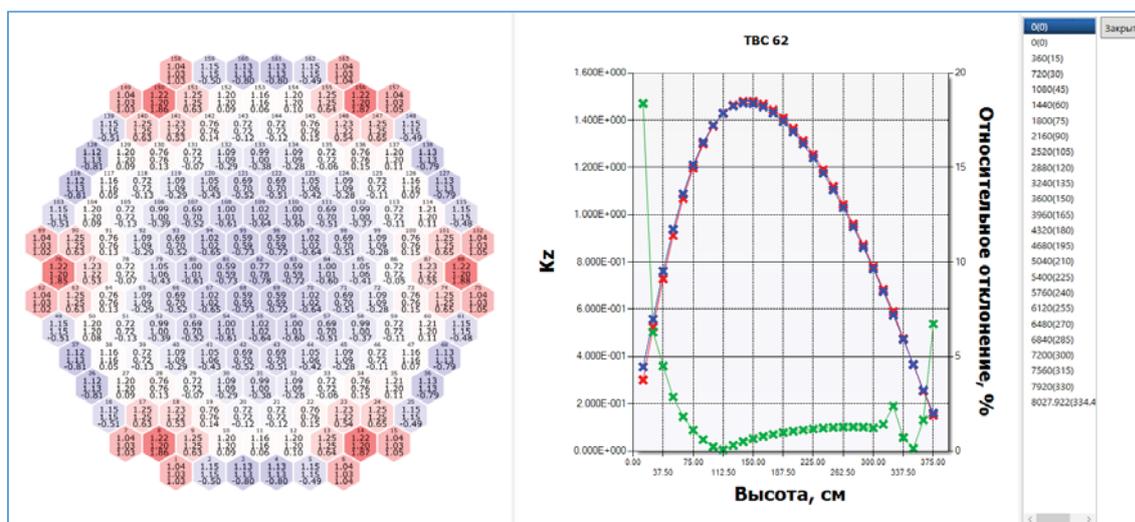


Рисунок 2 – Валидация полей энерговыделения при подготовке нейтронно-физической модели активной зоны для программного блока КАРТА

В левой части окна представлена картограмма, на которой выведены результаты расчётов относительной мощности кассет, выполненные с использованием детальной и упрощенной модели, а также относительное отклонение между ними. В правой части окна выведен график, в котором по левой высотной шкале представлено высотное распределение энерговыделения в кассете с максимальным различием между двумя моделями по этому параметру. По правой шкале зеленым цветом показано относительное отклонение двух расчётов.

Встроенная в программу-оболочку возможность визуализации результатов расчётов позволяет оперативно и в удобном для пользователя формате просматривать и анализировать полученные данные. Все графические объекты, выведенные на экран, можно сохранять и использовать в отчетной документации. Пример рабочего окна с выводом результатов расчётов показан на рисунке 3.

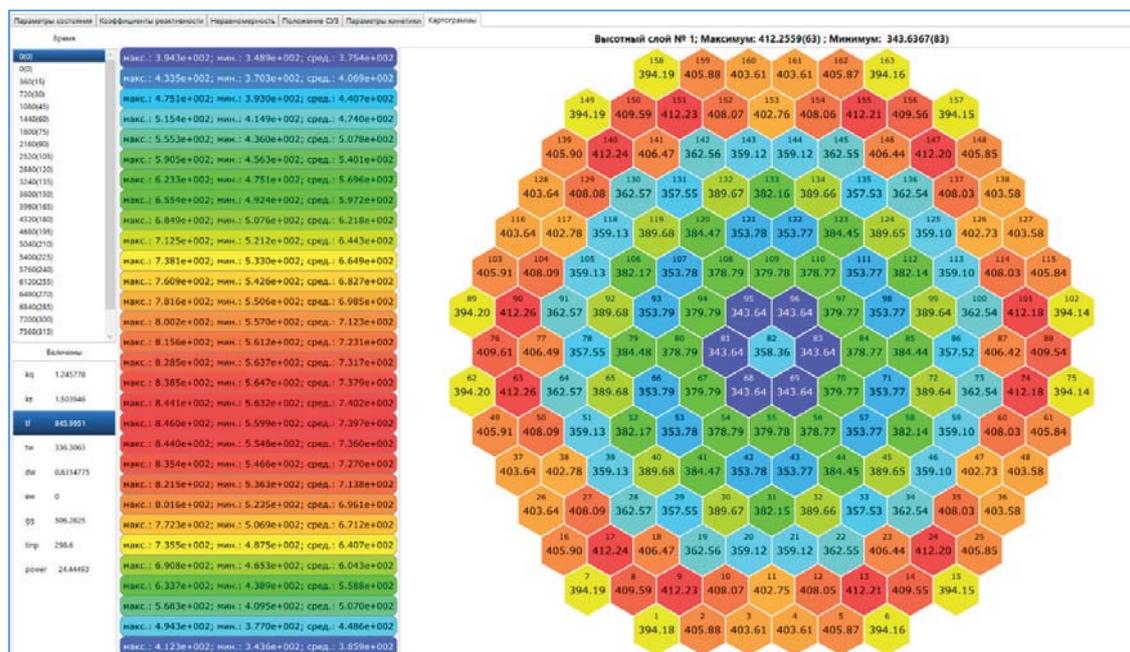


Рисунок 3 – Рабочее окно для вывода на экран результатов расчёта

В левой части окна пользователь может выбрать интересующий параметр и расчётное состояние (момент выгорания загрузки), соответствующие результаты будут выведены в таблице и на картограмме. В данном примере на экран выведены результаты расчётов температуры топлива на начальный момент выгорания загрузки. В центральной части показана цветовая шкала, в которой приведены максимальные, минимальные и средние значения температуры топлива во всех слоях высотной расчётной сетки. В правой части окна представлена картограмма с распределением температуры топлива в ТВС а.з. в высотном слое №30 (номер расчётного слоя выбирается щелчком мыши на экране на цветовой шкале).

Заключение

В связи с изменением номенклатуры и технологии проведения нейтронно-физического расчётного обоснования безопасности действующих и разрабатываемых РУ с ВВЭР АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» заключён договор с НИТИ об оптимизации программы-оболочки для подготовки расчётных моделей для программы RC. Существенное устаревание предыдущей версии программы-оболочки привело к необходимости создания полностью новой версии – Model_Creator_GP, взамен предыдущей – RC_monitor. В новой версии программы-оболочки учтены пожелания заказчика, высказанные в процессе работы. Она охватывает весь процесс проведения типовых проектных расчётов от подготовки расчётных моделей до запуска на расчёт сформированных расчётных пакетов и визуализации результатов расчётов. Заложенная при разработке ПО система разделения данных на шаблоны, проекты и пакеты значительно облегчает процесс разработки новых проектов РУ, а также выполнение необходимого перечня нейтронно-физических расчётов для обоснования безопасности действующих и разрабатываемых РУ с ВВЭР.

Литература

1. Программное средство САПФИР_95.1: аттестационный паспорт программного средства № 390 от 16.12.15. – Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2015.
2. Программное средство САПФИР_95&RC_ВВЭР.2: аттестационный паспорт программного средства № 321 от 18.04.13. – Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2013.
3. Программное средство ТРАП-КС: аттестационный паспорт программного средства № 369 от 18.03.15. – Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2015.
4. Программное средство КОРСАР/ГП: аттестационный паспорт программного средства №263 от 23.09.09. – Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2009.
5. Программа-оболочка RC_MONITOR для проведения расчётов активных зон реакторов типа ВВЭР с использованием программы RC и графического представления результатов расчётов: Руководство оператора. ЛКВШ 02.301.0000.00 01-01 / ФГУП «НИТИ имени А.П. Александрова». – 2010.
6. Программа-оболочка Model_Creator_GP: Инструкция пользователя. Рег. 227/10-11/20 / ФГУП «НИТИ имени А.П. Александрова». – 2020.

4.3 Апробация расчётной модели выгорания топлива в ТВС на основе результатов гамма-сканирования, полученных в рамках послереакторных исследований отработавших ТВС стенда КВ-1

В.Г. Артемов, М.Н. Баев, Д.Ю. Бессонов, Д.О. Грошев, А.С. Иванов, А.С. Карпов, А.Н. Кузнецов, П.А. Михеев, Р.В. Червяков

В настоящее время на стенде-прототипе транспортной ЯЭУ КВ-1 в рамках послереакторных исследований отработавших ТВС с целью оценки высотного распределения выгорания проводятся измерения распределения интегральной активности гамма-излучающих радионуклидов, а также активности реперных радионуклидов при гамма-сканировании отдельных ТВС. Полученные таким образом экспериментальные данные дают дополнительный материал для проведения верификации программ для ЭВМ, применяемых для расчётного сопровождения испытаний на стенде КВ-1. Для оценки нейтронно-физических характеристик (НФХ) применяется модель, подготовленная с использованием аттестованного в Ростехнадзоре комплекса программ (КП) САПФИР_ВВР95-RC [1] и модернизированной версии программы САПФИР_ВВР95 [2]-САПФИР_РФ [3]. Модель позволяет проводить расчёт выгорания топлива и накопления продуктов деления в твэлах активной зоны за время её испытаний на стенде-прототипе КВ-1. В статье приведено краткое описание методики моделирования выгорания топлива в ТВС и изложены первые результаты апробации расчётной модели в сравнении с экспериментальными данными.

Расчётная методика оценки выгорания топлива в ТВС

КП САПФИР_VBP95-RC в совокупности с программой САПФИР_РФ позволяет рассчитывать распределение выгорания по слоям активной зоны и концентрации реперных изотопов в каждом твэле исследуемой ТВС. КП САПФИР_VBP95-RC аттестован для расчёта нейтронно-физических характеристик активных зон транспортных ЯЭУ. Программа САПФИР_РФ – это версия программы САПФИР, доработанная для подробного расчёта нуклидного состава материалов при их выгорании (в настоящее время эта программа готовится к процедуре аттестации федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору «РОСТЕХНАДЗОР»). В программу включены цепочки ядерных превращений, учитывающие нейтронные реакции и реакции радиоактивного распада для 384 нуклидов.

Расчёт накопления реперных изотопов включал в себя 3 этапа. На первом этапе по программе САПФИР_VBP95 проведён расчёт нейтронно-физических характеристик отдельных ячеек активной зоны в процессе выгорания топлива в ТВС. На основе результатов этого расчёта подготовлена библиотека гомогенизированных диффузионных констант для программы RC. На втором этапе по программе RC рассчитаны нейтронно-физические характеристики активной зоны в диффузионном приближении. Основная цель данного расчёта – оценка изменения распределения энерговыделения в каждом слое ТВС в течение кампании. Таким образом, расчёт по программе RC позволяет оценить мощность каждого высотного слоя каждой ТВС активной зоны в каждый момент кампании. На заключительном этапе полученный детальный график изменения мощности ТВС использован в качестве исходных данных при расчёте изменения нуклидного состава топлива в твэлах по программе САПФИР_РФ. Схема расчёта проиллюстрирована на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема расчёта накопления реперных изотопов

Особенностью эксплуатации реакторной установки (РУ) стенда КВ-1 является то, что её испытания проводились циклами с периодическими остановками для проведения межциклового технического обслуживания. Кроме этого, для достижения максимальной глубины выгорания топлива в твэлах была проведена частичная перегрузка активной зоны (часть выгоревших ТВС была заменена на свежие) [4]. При этом РУ была остановлена более чем на 2 года. Чтобы учесть влияние этих факторов на накопление продуктов деления в твэлах, при моделировании выгорания в расчётной модели полностью имитировался реальный график испытаний. Для сопоставления с экспериментальными данными активность изотопов на момент измерений моделировалась с учётом их радиоактивного распада за время, прошедшее с момента остановки РУ.

Расчётный анализ результатов измерения интегральной активности ТВС

Измерения высотного распределения интегральной активности ТВС были проведены с использованием полупроводникового блока детектирования мощности дозы гамма-излучения. Данный блок детектирования регистрирует гамма-кванты широкого спектра энергий, поэтому результаты этих измерений нельзя использовать в качестве основы для количественной оценки глубины выгорания топлива в исследуемых ТВС. Однако их можно использовать для оценки относительного распределения глубины выгорания топлива по активной зоне и на этой основе провести апробацию расчётной модели.

Относительная активность исследуемых ТВС проиллюстрирована на рисунке 2. ТВС приведены в порядке возрастания их расчётной глубины выгорания. В качестве расчётных данных приведена суммарная активность реперных радионуклидов ^{137}Cs , ^{134}Cs и ^{144}Ce (по результатам расчётного моделирования это основные осколки деления, предопределяющие активность ТВС после извлечения из активной зоны).

Данные на рисунке 2 отнормированы на активность ТВС № 7, которая по результатам моделирования является одной из наиболее выгоревших.

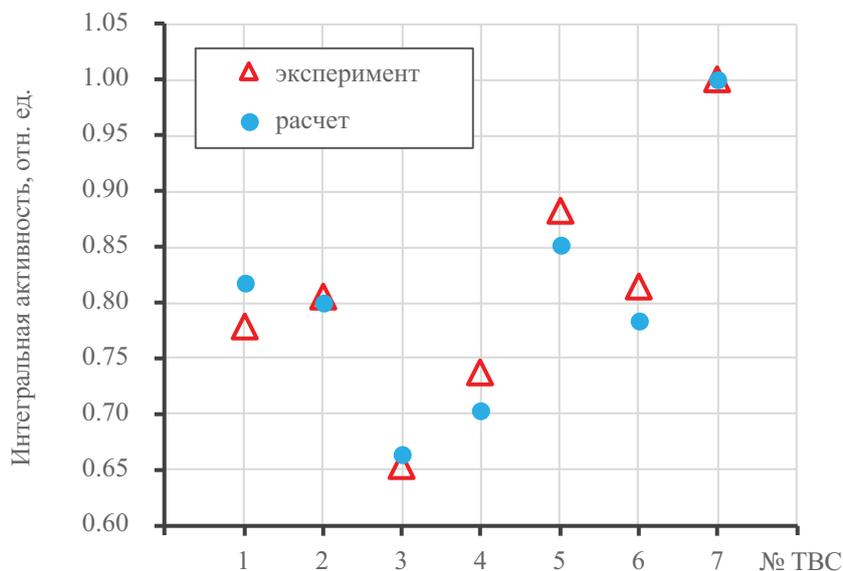


Рисунок 2 – Относительная интегральная активность ТВС

По результатам расчётов можно выделить две группы ТВС: 1, 2, 5, 7 и 3, 4, 6. В обеих группах наблюдается монотонное изменение активности от выгорания, но значения активности ТВС первой группы заметно выше активности ТВС второй группы. На основе расчётных исследований было установлено, что причина заключается в особенности накопления изотопов ^{134}Cs и ^{144}Ce , период полураспада которых существенно короче, чем период полураспада ^{137}Cs . Кроме того текущая концентрация ^{134}Cs определяется не только делением урана и радиационным распадом, но и реакцией захвата нейтронов на ^{133}Cs , которая зависит от плотности потока нейтронов. ТВС первой группы находятся в центральной части активной зоны, в которой в конце кампании вследствие извлечения центральной компенсирующей решетки происходило относительное возрастание плотности потока нейтронов в сравнении с периферийной зоной, в которой расположены ТВС второй группы. Это привело к относительно большему накоплению ^{134}Cs в ТВС первой группы, что и определило их относительно большую активность.

Влияние короткоживущих изотопов более наглядно можно продемонстрировать на примере высотного распределения активности. На рисунке 3 приведено распределение относительной активности по высоте ТВС № 7.

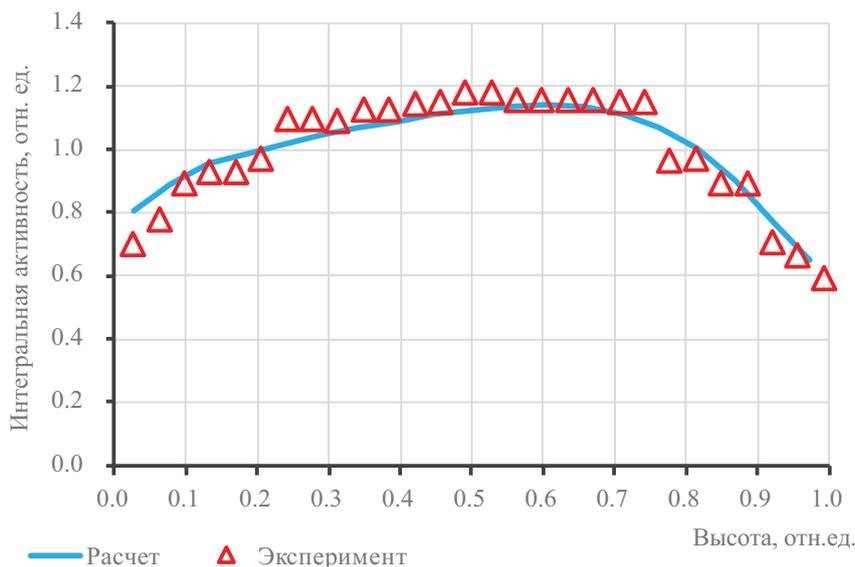


Рисунок 3 – Относительное высотное распределение интегральной активности в ТВС № 7

Наибольшее выгорание должно достигаться в нижней половине ТВС, поскольку на протяжении большей части кампании поле энерговыделения смещено к низу активной зоны, и лишь в конце кампании максимум энерговыделения перемещается в верхнюю её половину. Однако, результаты измерений и расчётов показывают, что максимум интегральной активности смещен в верхнюю половину активной зоны, что и проиллюстрировано на рисунке 3.

На рисунке 4 представлено расчётное высотное распределение осколков деления в этой ТВС.

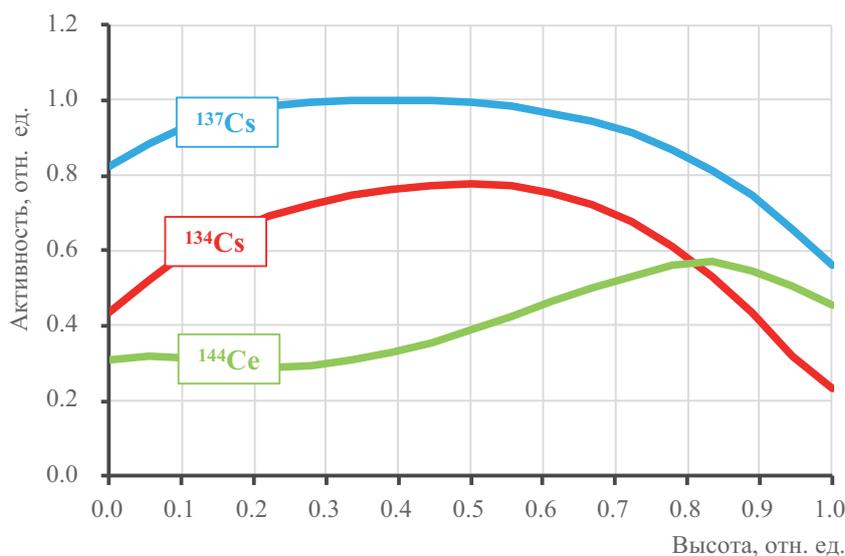


Рисунок 4 – Результаты моделирования высотного распределения активности осколков деления в ТВС № 7

Наиболее короткоживущим из трех представленных изотопов является ^{144}Ce , и поэтому распределение его активности по высоте ТВС отражает характер распределения энерговыделения в последних циклах испытаний активной зоны, когда максимум распределения поля энерговыделения заметно сместился в верхнюю половину активной зоны. В результате высотное распределение активности ^{144}Ce имеет яркий максимум в верхней части ТВС. Это приводит к тому, что и максимум суммарной активности этих трех изотопов также смещается вверх.

Расчётный анализ результатов гамма-сканирования ТВС

Более детальная информация о качестве расчётного моделирования получена в сравнении с результатами гамма-сканирования ТВС, в ходе которых были определены высотные распределения активности основных реперных изотопов: ^{134}Cs и ^{137}Cs . Результаты гамма-сканирования в сравнении с результатами моделирования представлены на рисунках 5 и 6.

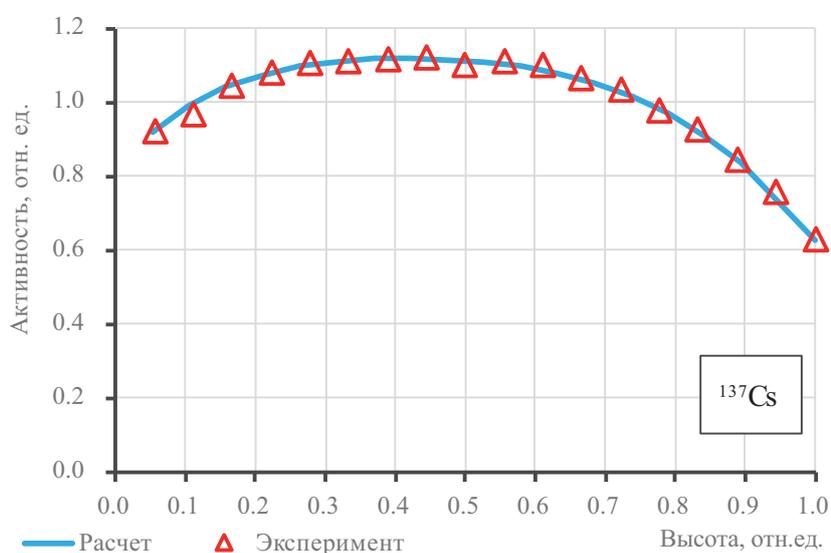


Рисунок 5 – Относительное высотное распределение активности ^{137}Cs в ТВС № 7

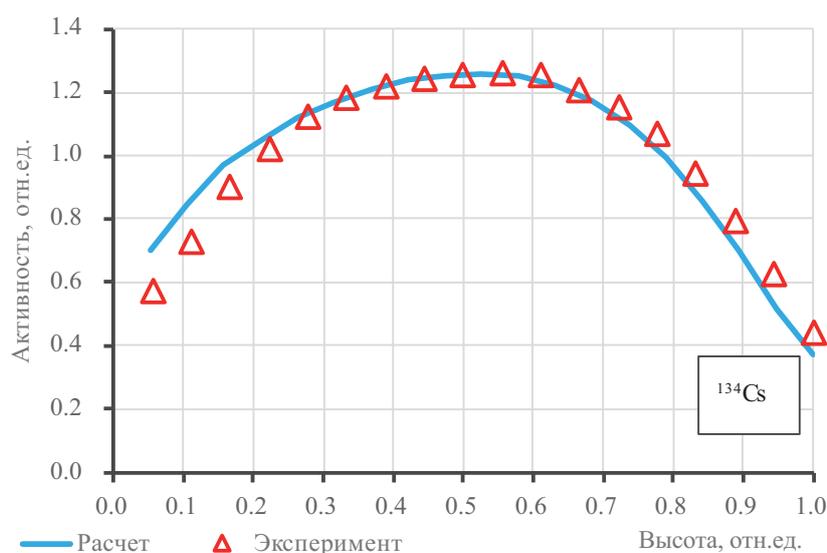


Рисунок 6 – Относительное высотное распределение активности ^{134}Cs в ТВС № 7

Сопоставление результатов измерения высотных распределений активности реперных изотопов с результатами моделирования ещё раз подтверждает вывод, сделанный на основе расчётного анализа результатов измерения интегральной активности: расчётная модель правильно отражает относительное распределение активности по активной зоне и особенности накопления основных реперных продуктов деления.

Несмотря на то, что испытания активной зоны имели циклический характер с относительно длительной остановкой на частичную перегрузку активной зоны, распределение накопления ^{137}Cs по высоте ТВС достаточно близко повторяет распределение выгорания, что проиллюстрировано на рисунке 7, где приведены результаты расчётного моделирования для ТВС, проработавшей в активной зоне весь период испытаний.

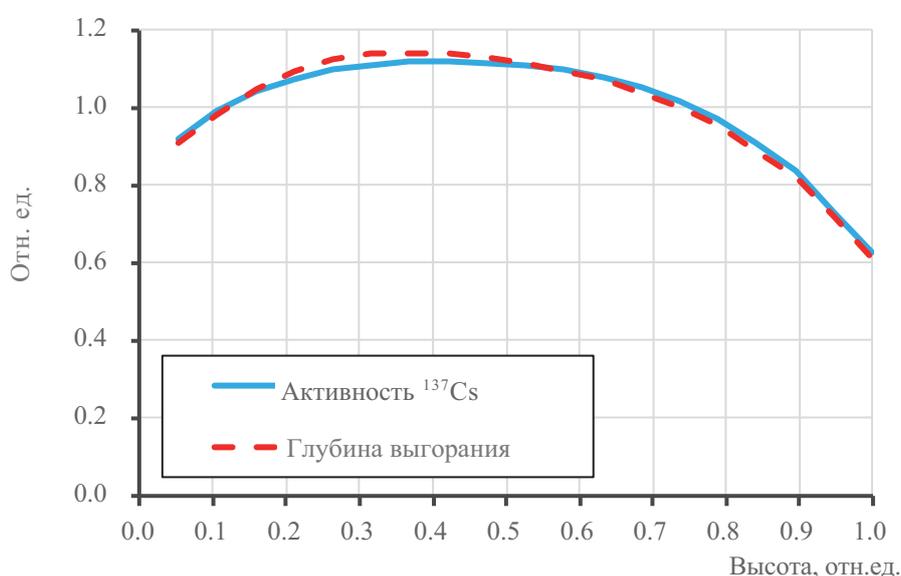


Рисунок 7 – Результаты моделирования относительных распределений концентрации ^{137}Cs и глубины выгорания топлива по высоте ТВС № 7

Из рисунка 7 видно, что распределение ^{137}Cs является достаточно представительным для оценки относительного выгорания топлива по высоте ТВС.

Однако точность перевода измеренной активности изотопа в реальную активность ТВС, по которой можно судить о глубине выгорания топлива, зависит от точности определения коэффициента ослабления потока гамма-квантов на пути от ТВС до детектора, что является самостоятельной сложной инженерной задачей. Исходя из предположения, что коэффициент ослабления для гамма-квантов от обоих изотопов у измерительной установки одинаков, отношение измеренных активностей $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ можно считать независимым от особенностей постановки эксперимента и использовать для дополнительной верификации расчётной модели при оценке абсолютных значений выгорания топлива. На рисунке 8 показано высотное распределение расчётного и измеренного отношения активности $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$.

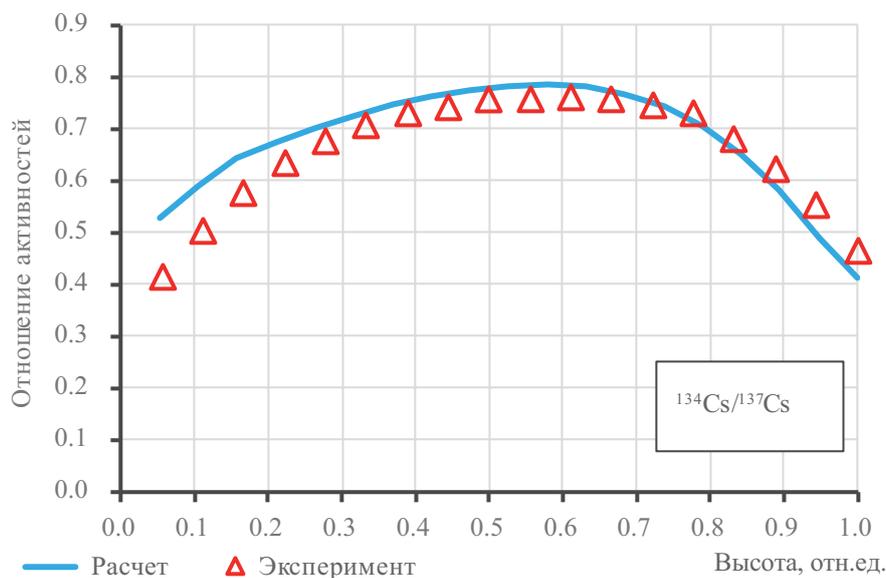


Рисунок 8 – Высотное распределение отношения абсолютных активностей ^{134}Cs и ^{137}Cs в ТВС № 7

Полученное согласие смоделированных и измеренных значений отношения $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ для наиболее выгоревшего участка ТВС позволяет предположить не только удовлетворительное моделирование относительного распределения накопления продуктов деления, но и абсолютной величины глубины выгорания топлива.

Заключение

Апробация расчётной модели, подготовленной с использованием КП САПФИР_ВВР95-RC и программы САПФИР_РФ, на основе измерения интегральной активности ТВС и результатов гамма-сканирования показывает, что модель можно использовать для оценки глубины выгорания топлива в ТВС стенда КВ-1.

Более детальная верификация модели будет проведена по мере расширения экспериментальной базы на основе результатов продолжающихся экспериментов по гамма-сканированию ТВС.

Литература

1. Комплекс программ САПФИР_ВВР95-RC: Аттестационный паспорт ПС № 261 от 23.09.2009.
2. Программа САПФИР_ВВР95 с библиотекой констант БНАБ-78/С-95: Аттестационный паспорт ПС № 260 от 23.09.2009.
3. Иванов А.С. Модернизация нейтронных библиотек и программы САПФИР_95, предназначенной для расчёта ячеек реактор / А.С. Иванов, А.С. Карпов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные констант. – 2018. – Вып. 1. – С. 27–34.
4. Концепция разработки и результаты испытаний двухступенчатой активной зоны с каналами «дожигания» / О.Б. Самойлов, В.И. Алексеев, С.А. Полянских, А.Н. Лепехин, О.А. Морозов, Г.Ш. Иксанова, П.А. Бочаров, П.Б. Матяш // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок. – ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». – 2018. – № 4 (14). – С. 9–19.

4.4 Измеритель линейный импульсно-токовый «Фаворит»

Д.Н. Жуковский, В.В. Малохатка, М.А. Струков, А.В. Кутын

Требованиями нормативных документов по обеспечению ядерной безопасности (ПБЯ-В.08-88, ПБЯ-В.08-88/05) в процессе жизненного цикла ядерных энергетических установок (ЯЭУ) стендов-прототипов транспортного назначения предписано использование не менее двух каналов контроля плотности потока нейтронов (ППН) при проведении потенциально-опасных работ (в том числе при проведении физических пусков реакторной установки (РУ) и перегрузок активных зон (а.з.)) на базе нештатной аппаратуры. Помимо этого, нештатные каналы контроля ППН и вычисления реактивности необходимы для обеспечения проведения измерений нейтронно-физических характеристик (НФХ) РУ.

До настоящего времени в НИТИ в качестве нештатной используется аппаратура (ПИР-7, ПВР-7, АИССЧИТ), разработанная ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» совместно с НИЦ «Курчатовский институт» ещё в начале 2000-х годов.

За более чем тридцатилетний срок плодотворной работы в составе лаборатории экспериментальных физических исследований (ранее – лаборатория физических исследований реакторов) ОНФИ накоплен уникальный опыт по разработке и эксплуатации нештатной аппаратуры контроля ППН, поэтому в 2015 году было принято решение о создании на основе современной элементной базы и программного обеспечения нового широкодиапазонного измерителя сигналов с подвесок ионизационных камер деления (ИК) с целью замены используемой на стендах-прототипах ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» морально и физически устаревшей нештатной аппаратуры контроля ППН. В ноябре того же года утверждено техническое задание на создание прибора – измеритель линейный импульсно-токовый «Фаворит».

Описание измерителя «Фаворит»

Измеритель линейный импульсно-токовый «Фаворит» (далее – изделие «Фаворит») является широкодиапазонным измерителем выходных сигналов с подвесок ИК и предназначен для обеспечения контроля ППН на протяжении всего жизненного цикла ЯЭУ (в том числе при проведении физических пусков РУ и перегрузок активных зон). Внешнее специальное программное обеспечение (СПО) обеспечивает вычисление реактивности реактора, что позволяет использовать измеритель для проведения измерений нейтронно-физических характеристик РУ.

В основе архитектуры изделия «Фаворит» принят магистрально-модульный принцип построения, это (с использованием СПО, позволяющего изменять и применять более сложные алгоритмы обработки сигналов) позволяет расширить функциональные возможности и область применения измерительных каналов на основе измерителя «Фаворит» и на его базе, и в зависимости от необходимого функционального назначения получить различные модификации измерительных приборов.

Внешний вид изделия «Фаворит» иллюстрируют рисунки 1 и 2.

Изделие «Фаворит» выполнено в 19-дюймовом стоечном конструктиве, создано на

основе передовой элементной базы и программного обеспечения, и представляет собой современный, универсальный, адаптируемый под различные задачи измерительно-вычислительный комплекс.



Рисунок 1 – Измеритель «Фаворит» – вид спереди



Рисунок 2 – Измеритель «Фаворит» – вид сзади

Для реализации своих функций изделие «Фаворит» обеспечивает измерение сигнала с подвесок ИК в следующих режимах работы:

- импульсном (измерение скорости счёта импульсов тока);
- токовом (измерение силы постоянного тока);
- автоматического переключения с импульсного в токовый режим и обратно.

Созданный прибор является широкодиапазонным измерителем, диапазон измерения: скорости счёта импульсов тока – от 0,1 до $1,0 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$, силы постоянного тока – от $1,0 \cdot 10^{-9}$ до $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ А}$. Следовательно, изделие «Фаворит» позволяет обеспечить контроль плотности потока нейтронов и измерение НФХ во всех режимах работы реакторной установки.

В измерителе реализован вывод результатов измерений на цифровой индикатор, расположенный на лицевой панели прибора. Также измеритель обеспечивает передачу информации (значений скорости счета импульсов, тока, установленного времени фильтра) на ПЭВМ по линии связи в стандартах RS 232, RS 485 и интерфейсу USB 2.0.

Установленное на ПЭВМ программное обеспечение предназначено для визуализации данных и вычисления реактивности методом обращенного решения системы уравнений точечной кинетики нейтронов.

В изделии «Фаворит» предусмотрен непрерывный контроль собственной исправности, а также контроль источников питания. По НП-001-15 измеритель «Фаворит» относится к третьему (ЗН) классу безопасности.

Изготовленный прибор прошел все виды необходимых испытаний (лабораторные, предварительные, приемочные, испытания на электромагнитную совместимость и на воздействие внешних факторов) с положительными результатами.

Заключение

Изделие «Фаворит» является первым нестандартным прибором контроля ППН, разработка и изготовление которого полностью выполнены специалистами ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

В 2017, 2018 и 2021 годах изделие «Фаворит» прошло успешную апробацию при проведении измерений НФХ на стендовых установках НИТИ (в ОКЭЭР и ОИКАР).

В декабре 2020 года приказом «Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии» (Росстандарт) утвержден тип измерителя линейного импульсно-токового «Фаворит», который зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под №80818-20 и допущен к применению в Российской Федерации.

Высокий уровень разработки и качества изготовления позволяют рассчитывать на интерес к приобретению изделия сторонними организациями. Универсальность и адаптивность изделия «Фаворит» позволяет использовать (интегрировать) его в качестве составной части в системах диагностирования как на установках стендов-прототипов ЯЭУ НИТИ, так и на других объектах использования атомной энергии.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ю.А. Мигров

Важнейшим направлением работ отдела теплофизических исследований (ОТФИ) в 2020 году являлась подготовка верификационных материалов в обеспечение переоформления аттестационного паспорта (АП) базовой версии системного расчётного кода (РК) КОРСАР/ГП. Необходимость этой сложной и трудоёмкой работы была обусловлена не только тем, что действие АП закончилось в сентябре 2019 г., но и тем, что требовалось обосновать возможность расширения области применения кода для условий АЭС с ВВЭР нового поколения (АЭС-2006), характерными особенностями которых по сравнению с базовыми АЭС с ВВЭР-1000 являются:

- переход на усовершенствованные ТВС (увеличение обогащения топлива по ^{235}U ; удлинённый топливный столб; увеличение количества твэгов, содержащих до 8 % гадолия);
- ориентация на длительное (до 3-х суток) пассивное расхолаживание энергоблока с помощью пассивно действующих систем безопасности (СПОТ ПГ; СПОТ ЗО; СПАЗ).

Продолжались работы по развитию, верификации и валидации новой базовой версии РК КОРСАР/ЗД. Обобщены верификационные материалы по расчётному коду в части обоснования моделей CFD-модуля, являющегося важнейшей составной частью функционального наполнения РК КОРСАР/ЗД. В рамках инвестиционного проекта (заказчик АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС») начаты работы по адаптации в составе расчётного кода программы расчёта термомеханики твэлов РАПТА 5.2 (разработчик ВНИИНМ, Москва). Завершение этих работ обеспечит решение важнейшей задачи – численное моделирование нестационарных нейтронно-физических, теплогидравлических и термомеханических процессов водо-водяных реакторов в сопряженной постановке.

Проводимая в НИТИ модернизация стенда КМ-1 требует обеспечения научного сопровождения его сооружения и эксплуатации. В качестве одного из главных инструментов научного сопровождения рассматривается системный расчётный код КОРСАР, разработка жидкометаллической версии которого была завершена в 2020 году. При этом, в процессе разработки реализована двухжидкостная теплогидравлическая модель, что позволяет осуществлять численное моделирование динамики проектных и запроектных аварий с течами теплоносителя из второго контура в первый. Начаты работы по валидации специализированной версии РК КОРСАР/ЖМТ на основе доступных экспериментальных данных.

В отличие от водо-водяных реакторов, для которых за десятилетия создана солидная валидационная база, для реакторов с ТЖМТ имеется лишь небольшое количество экспериментальных установок (например, TALL (Швеция), NACIE (Италия), стенды ЦКТИ и института теплофизики СО РАН (Россия)), что явно недостаточно для обоснования и подтверждения расчётных моделей. Такая ситуация обусловлена прежде всего тем, что работа с жидким металлом технологически очень сложна, и эксперименты, соответственно, достаточно дорогие. В этих условиях большое значение приобретает база экспериментальных данных по результатам испытаний стендовой установки КМ-1 (первая кампания реактора завершилась в 1986 году), сформированная в соответствии с утверждённым стандартом предприятия. В 2020 году эта база данных (полностью в цифровом формате) сдана в эксплуатацию.

В последние годы наметилась положительная тенденция развития в отделе локальной экспериментальной базы для теплофизических исследований. Созданы и эксплуатируются:

- стенд «Д-1» для изучения процессов критического истечения двухфазных смесей из сосудов под давлением в случае их разгерметизации и воздействия струй истекающего теплоносителя на элементы оборудования;
- стенд «ВХГР» для отработки каталитических рекомбинаторов водорода;
- стенд «КОРВЕТ-2» для экспериментальных исследований кризиса кипения на наружных поверхностях корпуса реактора и ловушки расплава при тяжелых авариях ВВЭР.

Проводятся работы по сооружению стенда «ИСТП», который будет введен в эксплуатацию в 2021 году и предназначен для моделирования двухфазных потоков.

Более подробно некоторые из упоминающихся в данном обзоре направления теплофизических исследований представлены в публикуемых в данном разделе статьях.

4.5 Разработка, верификация и практическое использование ПК КОРСАР/ЖМТ

С.Н. Волкова, Д.В. Бенедиктов, А.В. Вакарин, И.Г. Данилов,
А.В. Ярушина

Одной из приоритетных задач Госкорпорации «Росатом», решаемых в ближайшее время, является создание ЯЭУ с жидкометаллическим теплоносителем (ЖМТ). Применение новых конструкторских и технических решений уже на этапе технического проектирования требует расчётного обоснования безопасности режимов нормальной эксплуатации, режимов с нарушением нормальной эксплуатации и аварийных режимов, включая течи оборудования первого и второго контуров и межконтурные течи.

Учитывая то, что институт выполняет функцию Научного руководителя по РУ со свинцово-висмутовым теплоносителем (СВТ), разработка программных средств, позволяющих выполнять расчётное обоснование безопасности и последующее сопровождение испытательных режимов, явилась приоритетной и актуальной задачей.

С этой целью в ОТФИ в период 2019–2020 г.г. была разработана и верифицирована специализированная версия ПК КОРСАР/ЖМТ, обеспечивающая расчёт безопасности РУ с СВТ.

Разработка осуществлялась на основе ПК КОРСАР/ВЗ (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ в Роспатенте № 2009614930), предназначенного для обоснования безопасности РУ и энергоблоков с водяным теплоносителем.

Разработка специализированной версии ПК КОРСАР/ЖМТ

При расчётном обосновании безопасности реакторных установок с ЖМТ особое место занимают аварийные режимы с разрывом трубок парогенераторов. Поскольку теплоносителем второго контура является вода с более высоким давлением, чем давление в первом контуре, пароводяная смесь, попадая в жидкий металл, вскипает с возникновением пика давления в контуре сплава, сопоставимым с давлением во втором контуре. При этом требуется оценка последствий этой, сложной с точки зрения математического моделирования, аварийной ситуации.

В соответствии с данной задачей в 2020 году по результатам локальной и интегральной верификации была выполнена доработка специализированной версии КОРСАР/ЖМТ, касающаяся, в основном, описания аварийных процессов с межконтурными течами. Были решены следующие научные задачи:

- модернизирована система дифференциальных уравнений сохранения для ЖМТ, в которой, оставаясь в рамках двухжидкостной модели, в качестве жидкой фазы рассматривается свинцово-висмутовая эвтектика, в качестве паровой фазы – парогазовая смесь;
- разработана технология замены водяной фракции на жидкометаллическую или любую другую с помощью специальных ключей;
- разработаны карты режимов течения и теплообмена, а также система замыкающих соотношений теплогидравлической модели для ЖМТ;
- разработаны специализированные программные модули расчёта динамики компенсаторов объёма для плотного контура и с учётом транспорта парогазовой смеси в контуре сплава.

Основные характеристики ПК КОРСАР/ЖМТ:

1. Применяемые виды теплоносителей:
 - вода и водяной пар;
 - эвтектический сплав свинец-висмут (свинец 44,5 %, висмут 55,5 %);
 - неконденсирующиеся газы – водород (H_2), гелий (He), азот (N_2), кислород (O_2).
2. В контурах с водяным теплоносителем неконденсирующиеся газы могут присутствовать в жидкой фазе в растворенном виде и в составе парогазовой фазы в произвольном соотношении компонент.
В контурах с ЖМТ в качестве жидкой фазы рассматривается сплав, в качестве газовой фазы – парогазовая смесь в произвольном соотношении между газовыми компонентами и водяным паром.
3. Область применения по температуре сплава:
 - от температуры плавления $T_{пл} = 398,15$ К до температуры кипения $T_s = 1944$ К.

Верификация и валидация РК КОРСАР/ЖМТ

Применяемые для обоснования безопасности объектов ядерной энергетики расчётные коды должны пройти процедуру верификации и валидации по результатам экспериментов на локальных и интегральных стендах и последующую аттестацию программного средства в Ростехнадзоре. Для валидации РК КОРСАР/ЖМТ использовались следующие локальные и интегральные стенды: HELIOS (Южная Корея), TALL (Швеция), THEADES (Германия), NACIE (Италия), LIFUS5 (Италия), стенды ИТ СО РАН, НПО ЦКТИ (СССР).

В качестве примера локальной верификации представлены эксперименты, проведенные на стенде Института Теплофизики СО РАН, по впрыску инертного газа в канал, заполненный сплавом Розе (висмут 50 %; свинец 25 %; олово 25 %).

Схема стенда приведена на рисунке 1. Стенд состоял из вертикально расположенного рабочего участка, системы подвода газа с регулирующими вентилями и клапаном, время открытия которого управлялось при помощи программируемого контроллера. Непосредственно перед клапаном находился баллон объёмом 3 дм³ с газом при постоянном рабочем давлении. Старт эксперимента происходил при подаче управляющего сигнала на открытие электромагнитного клапана. Рассматривались эксперименты с длительностью впрыска газа 50 мс и 100 мс.

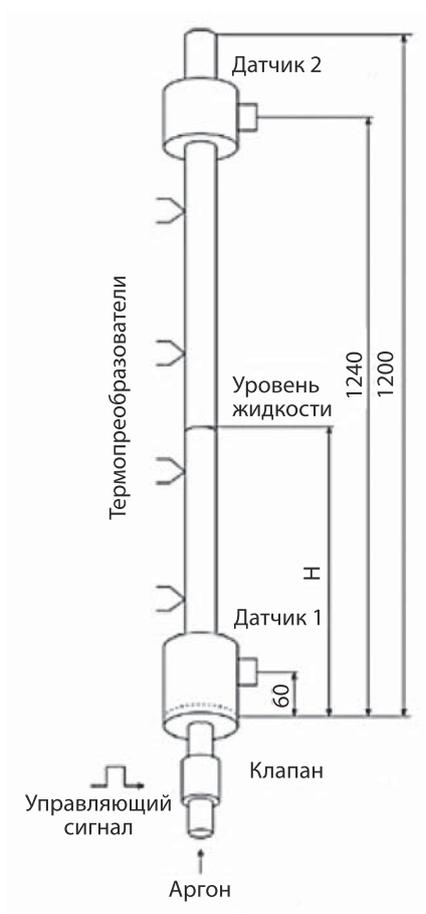


Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда

Сопоставление полученных расчётных данных с экспериментальным изменением давления в контролируемой точке по датчику 1 для эксперимента с временем впрыска газа 50 мс показано на рисунке 2, а для эксперимента с временем впрыска газа 100 мс – на рисунке 3. Из рисунков видно достаточно хорошее согласование расчёта с экспериментом, как по периоду, так и по амплитуде возникающих колебаний давления в канале.

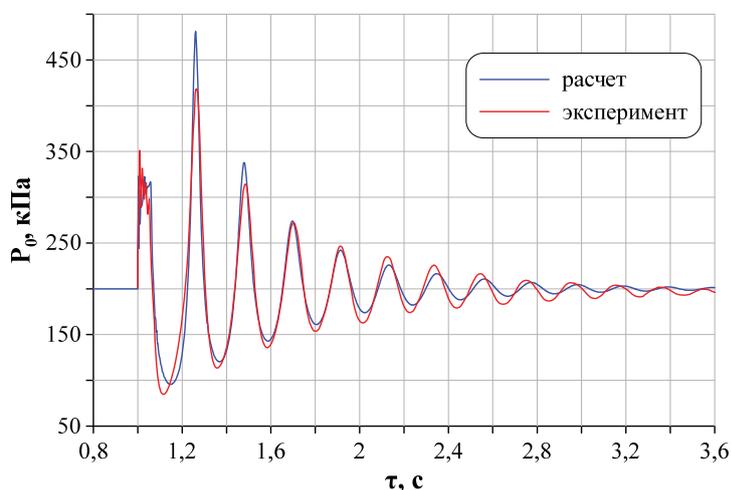


Рисунок 2 – Сопоставление расчётного и экспериментального изменения давления в контролируемой точке для эксперимента со временем впрыска 50 мс

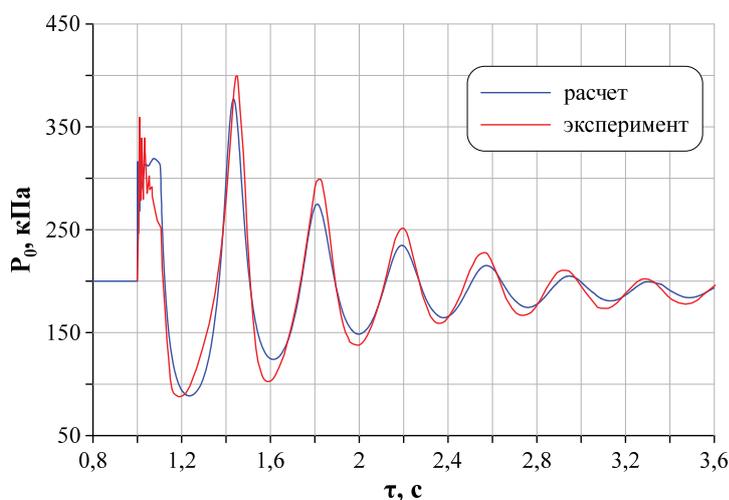


Рисунок 3 – Сопоставление расчётного и экспериментального изменения давления в контролируемой точке для эксперимента со временем впрыска 100 мс

Наиболее представительной явилась валидация РК КОРСАР/ЖМТ по результатам испытаний в конце 70-х – начале 80-х годов прошлого века на стенде КМ-1 с ядерной установкой и свинцово-висмутовой эвтектикой в качестве теплоносителя. Была разработана расчётная модель динамики ППУ стенда КМ-1 и на основе базы верификационных данных проведены расчёты стационарных и динамических режимов работы установки.

Сопоставление расчётных и экспериментальных значений температуры сплава на входе и выходе из реактора и температуры перегретого пара для стационарных состояний установки при работе трёх, двух и одной петель теплообмена (ПТО) на различных уровнях мощности представлено на рисунках 4, 5 и 6, соответственно.

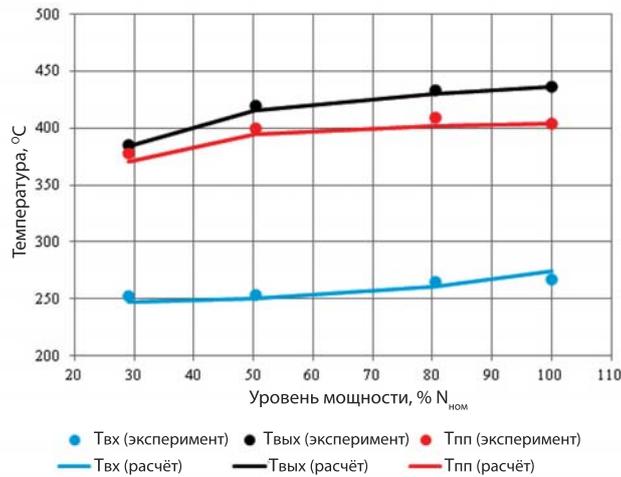


Рисунок 4 – Сопоставление результатов расчёта и эксперимента (3 ПТО)

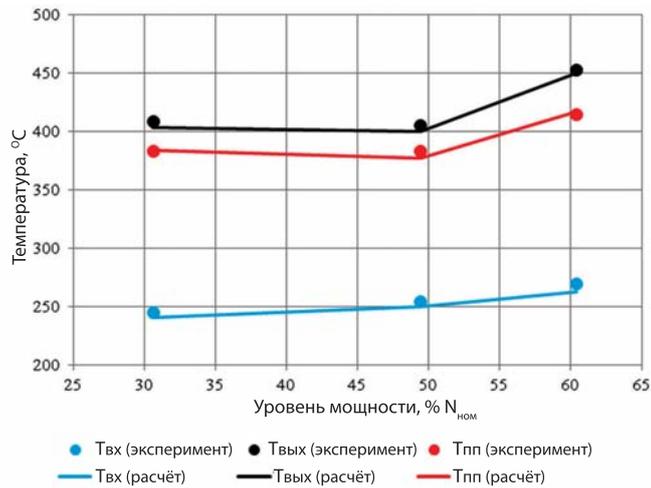


Рисунок 5 – Сопоставление результатов расчёта и эксперимента (2 ПТО)

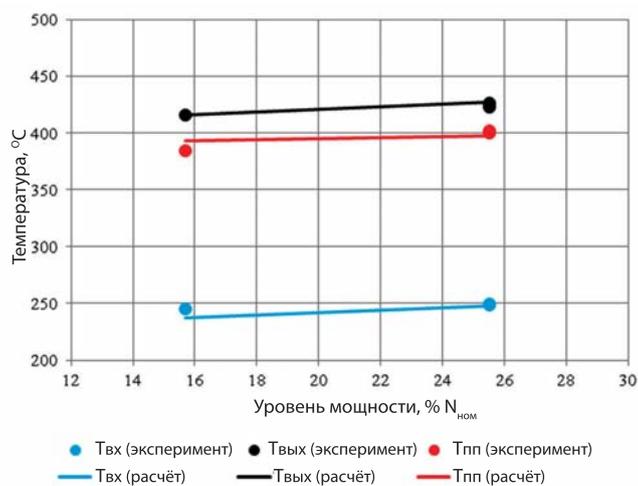


Рисунок 6 – Сопоставление результатов расчёта и эксперимента (1 ПТО)

Практическое применение работы

С использованием разработанной специализированной версии РК КОРСАР/ЖМТ выполнен расчётный анализ запроектных аварий для проектируемой ЯЭУ со свинцово-висмутовой эвтектикой в качестве теплоносителя. Результаты данного анализа включены в соответствующий раздел ТОБ. В качестве запроектных аварий рассматривались следующие аварийные сценарии:

- разгерметизация оборудования первого контура, включая разрыв трубки парогенератора на испарительном и пароперегревательном участках;
- разрыв корпуса реактора;
- разрыв трубопроводов второго контура полным сечением на различных участках циркуляционного контура;
- наличие дополнительных отказов оборудования при рассмотрении данных аварий по основному сценарию.

По результатам расчётного анализа обоснована безопасность установки в авариях данного типа и даны рекомендации по оптимизации алгоритмов управления авариями.

Литература

1. Разработка специализированной версии РК КОРСАР/ЖМТ. Описание математических моделей: отчёт о НИР: Рег. – № Т-4438 / ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». – 2020.
2. РК КОРСАР/ЖМТ: руководство пользователя; Рег. № Т-4439 / ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». – 2020.
3. Численное моделирование экспериментов установки КМ-1 на основе РК КОРСАР/ЖМТ: Рег. № Т-4490 / ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». – 2020.
4. Верификация РК КОРСАР/ЖМТ на основе локальных и интегральных экспериментов (этап 1): Рег. № Т-4646 / ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». – 2020.
5. Разработка расчётной модели динамики РУ. Книга 2. Описание РК КОРСАР/ЖМТ и его верификация : НТО о СЧ ОКР; Рег. № Т-4493 / ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». – 2020.
6. Расчётный анализ запроектных аварий: НТО о СЧ ОКР; Инв. № П-4198 / ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». – 2020.

4.6 Экспериментальная установка «Корвет-2»

В.К. Ефимов, О.Д. Чёрный, М.В. Девяткин, А.С. Сазонтов

Для удержания расплавленной активной зоны реактора при тяжёлой аварии на АЭС проекта ВВЭР-2006 предусмотрено устройство локализации расплава (УЛР).

Теплоотвод от локализирующих стальных конструкций УЛР происходит в процессе кипения охлаждающей воды в условиях большого объёма. Одним из основных критериев, определяющих их работоспособность, является запас до кризиса теплообмена при кипении в большом объёме воды, загрязнённой химическими веществами и взвешенными частицами различного состава (дебрисом). В настоящее время опытные данные и расчётные рекомендации по кризису теплообмена для теплоотдающих поверхностей в таких условиях отсутствуют.

Создание экспериментальной установки (ЭУ), моделирующей условия теплоотвода от стенки корпуса УЛР, и последующие исследования на ней позволят определить величину критического теплового потока при кипении загрязнённой химическими веществами и дебрисом воды.

Для выполнения экспериментальных исследований по теме: «Оценка влияния дебриса и химического состава теплоносителя на процессы теплоотвода от стенки корпуса УЛР» в НИТИ были выполнены работы по проектированию, изготовлению и монтажу такой экспериментальной установки (ЭУ «Корвет-2»).

Экспериментальная установка

Экспериментальная установка «Корвет-2» представляет собой модель контура охлаждения устройства локализации расплава.

В состав ЭУ входят следующие основные узлы и системы:

- короб с рабочими участками (РУ1 и РУ2);
- циркуляционный контур;
- система экспериментальных измерений (СЭИ).

В коробе моделируются условия теплоотвода от стенки корпуса УЛР. Рабочие участки моделируют цилиндрический (РУ1) и конический (РУ2) участки корпуса УЛР. Нагрев каждой из пластин рабочих участков осуществляется путем непосредственного пропускания электрического тока от выпрямительного агрегата. Генерируемый пар конденсируется в теплообменнике-конденсаторе, конденсат самотёком возвращается в короб.

Схема расположения ЭУ стендового комплекса КМС НИТИ представлены на рисунке 1.

Технические характеристики ЭУ:

- уровень водяного столба в контуре циркуляции – до 10 м;
- давление теплоносителя – до 200 кПа абс.;
- подводимая электрическая мощность – до 180 кВт;
- величина плотности теплового потока от стенки модели корпуса УЛР – до 2,8 МВт/м².

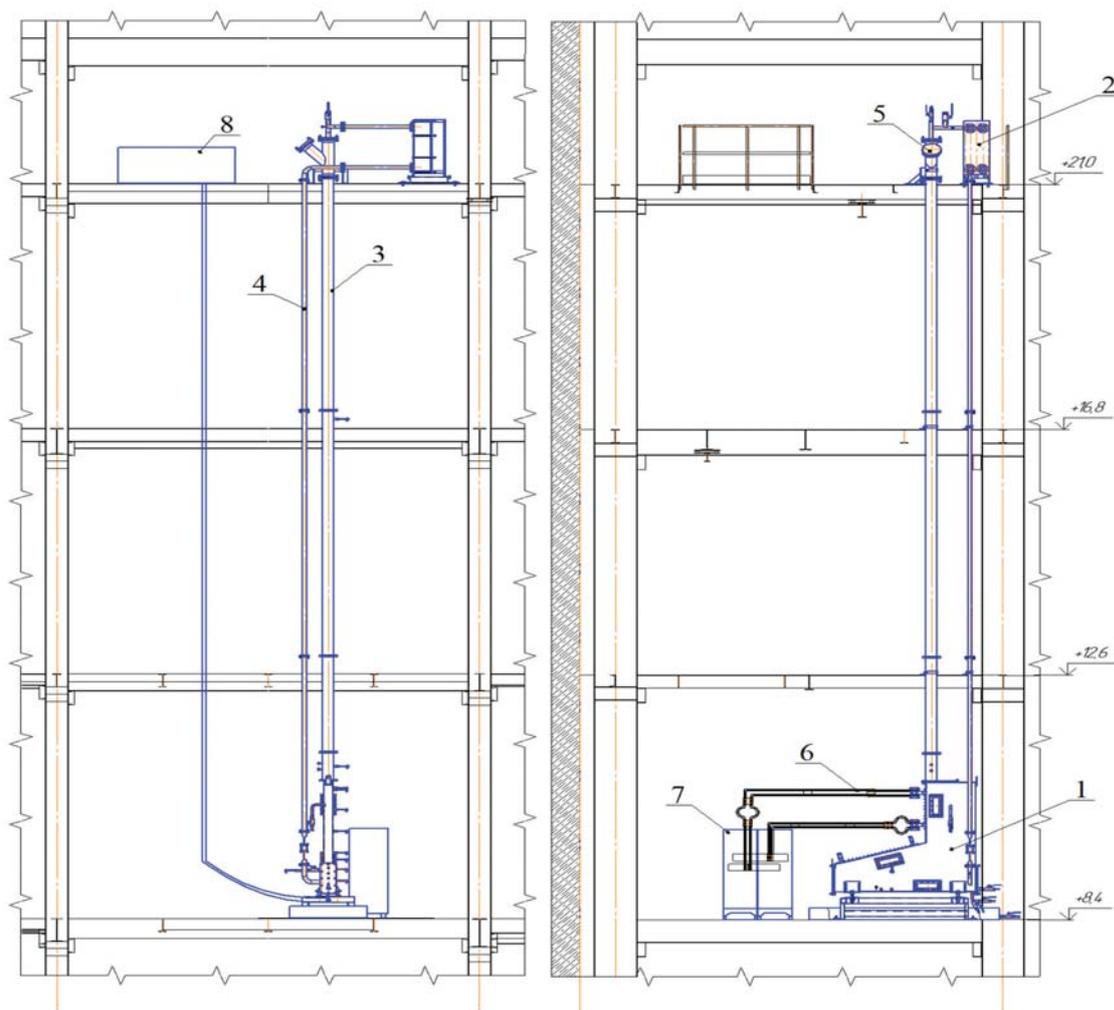


Рисунок 1 – Общий вид и схема расположения ЭУ «Корвет 2» в осях Б 2-1 и В 2-1 в здании крупномасштабного стенда (КМС):

- 1 – короб, 2 – теплообменник-конденсатор, 3 – подъемный участок трубопровода,
4 – опускной участок трубопровода, 5 – фильтр, 6 – токоподводящие шины,
7 – выпрямительный агрегат, 8 – ванна для подготовки теплоносителя.

Короб

На рисунке 2 представлен общий вид короба. Короб представляет собой стальную ёмкость объёмом ~ 0,3 м³. Снаружи короб теплоизолирован. В коробе размещаются наклонный (1) и вертикальный (2) рабочие участки. Наблюдение за движением теплоносителя и дебриса организовано через три сквозных визуализационных окна (4). Конструкция короба предусматривает съёмные элементы фланцевого типа для установки и крепления в нём рабочих участков, заглушек и трубопроводов. Подогрев теплоносителя в нижней части короба осуществляется с помощью электронагревателей (5). На боковых стенках короба (3) предусмотрены патрубки с клапанами (6) для заполнения и слива теплоносителя, два клапана (7) для отбора проб, а также 15 штуцеров (8) под установку термодатчиков. Короб устанавливается

и фиксируется на фундаментной рамной конструкции (9), жёстко и надёжно удерживающей короб с возможностью точной регулировки его положения. Для предотвращения утечек теплоносителя из короба на металлические конструкции площадок под коробом предусмотрен стальной поддон (10). Для поддержания гомогенности раствора воды и дебриса предусмотрена возможность перемешивания среды с помощью барботажной трубы (11), подключённой через клапан к системе подачи воздуха.

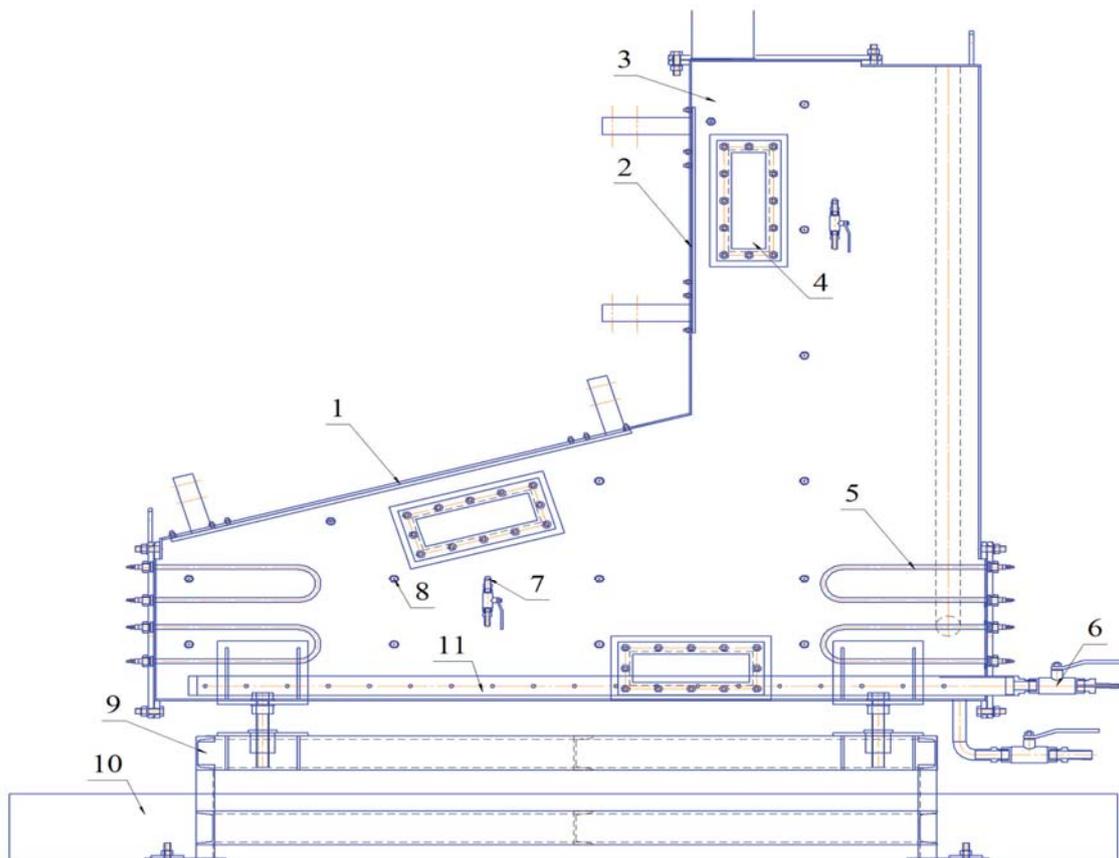


Рисунок 2 – Общий вид короба с рабочими участками (ПУ):

- 1 – наклонный рабочий участок ПУ2, 2 – вертикальный рабочий участок ПУ1, 3 – борт короба, 4 – визуализационные окна, 5 – электронагреватели, 6 – клапаны, 7 – клапаны отбора химических проб, 8 – штуцеры крепления датчиков температуры, 9 – рама, 10 – поддон, 11 – барботажная труба.

Рабочие участки

Рабочие участки (рисунок 3) представляют собой прямоугольные электрообогреваемые пластины (1), выполненные из нержавеющей стали марки X18H10T, с приваренными к ним медными токоподводами (2) и прижимными шпильками (3).

Через паронитовое уплотнение ПУ устанавливаются и крепятся посредством шпилек к фланцевым конструкциям короба токоподводами наружу. Характеристики рабочих участков представлены в таблице 1.

Обогрев рабочих участков осуществляется непосредственным пропусканием электрического тока через медные токоподводы от выпрямительного агрегата ПУЛЬСАР «СМАРТ» (напряжение до 12 В, ток до 12 кА).

Таблица 1

Характеристики рабочих участков

Параметр	РУ1	РУ2
Толщина пластины (b), м	0,005	0,01
Ширина пластины (h), м	0,1	0,1
Длина электрообогреваемой части пластины (L), м	0,5	1,0
Площадь поперечного сечения, $\text{м}^2 \times 10^{-4}$	6,3	10
Площадь контактирующей с водой поверхности, м^2	0,054	0,1
Сопротивление, $\text{Ом} \times 10^{-3}$	0,95	1,0
Максимальный ток, $\text{А} \times 10^3$	12	12
Максимальная электрическая мощность, $\text{Вт} \times 10^3$	144	144
Максимальная плотность теплового потока, $\text{Вт}/\text{м}^2 \times 10^6$	2,8	1,4

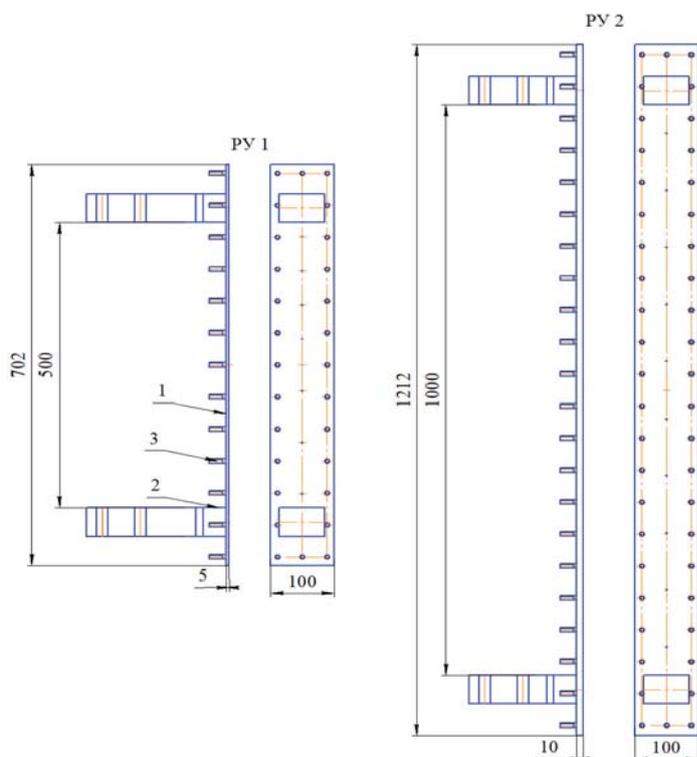


Рисунок 3 – Рабочие участки:

1 – электрообогреваемая пластина, 2 – токоподвод, 3 – шпильки.

На рисунке 4 представлено фото фрагмента ЭУ «Корвет-2».

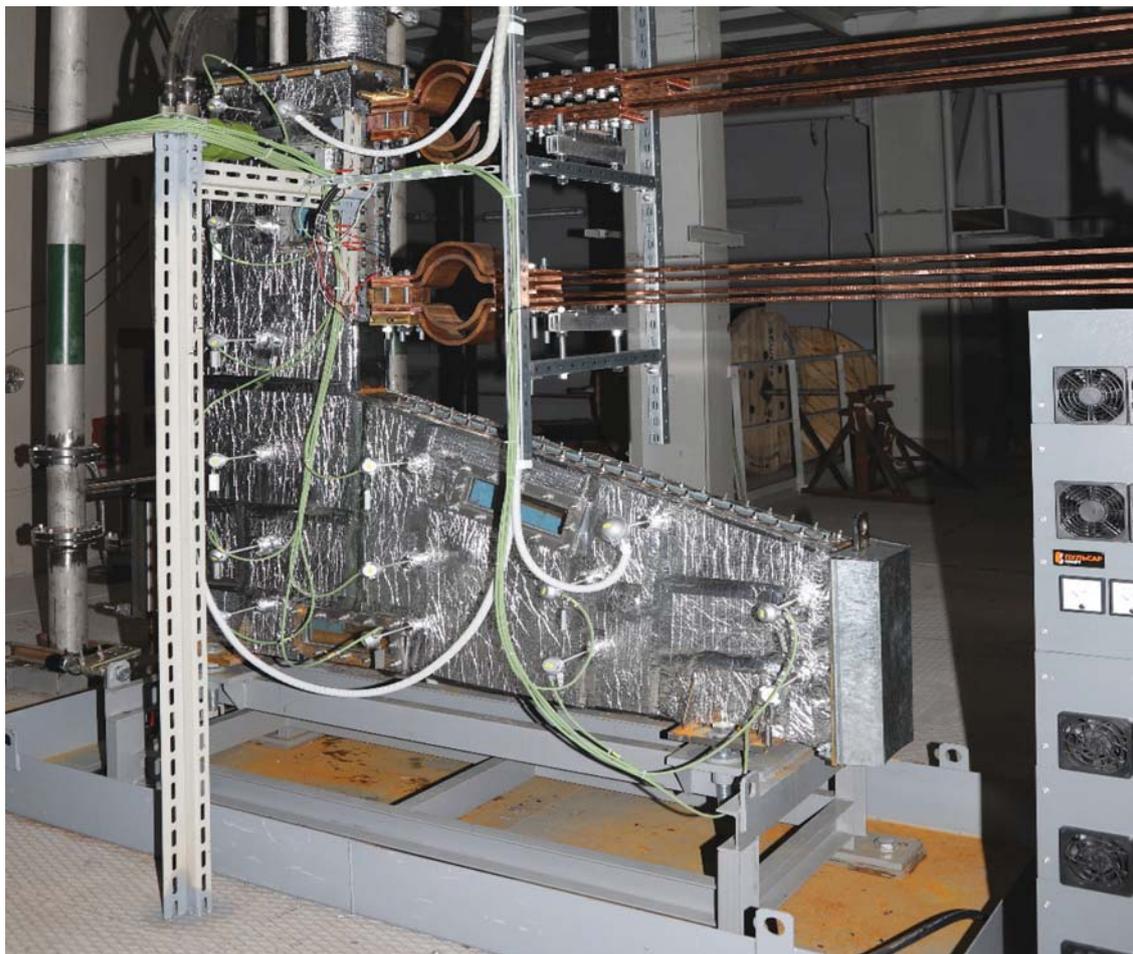


Рисунок 4 – Экспериментальная установка «Корвет 2»

Циркуляционный контур

Циркуляционный контур предназначен для обеспечения теплоотвода от рабочих участков экспериментальной установки, конденсации пара и охлаждения теплоносителя, а также для заполнения и слива теплоносителя. Основные элементы циркуляционного контура представлены на рисунке 1. Соединение короба (1) и теплообменника-конденсатора пара (2) осуществляется с помощью подъёмного (3) и опускного (4) участков трубопровода. На подъёмной трубе перед теплообменником установлен сетчатый фильтр (5). В верхней части опускного трубопровода на выходе из теплообменника установлен атмосферный воздушный клапан. Заполнение циркуляционного контура теплоносителем осуществляется из ванны (8).

Система экспериментальных измерений

ЭУ «Корвет-2» оснащена системой экспериментальных измерений, включающей в себя первичные измерительные преобразователи, представленные в таблице 2. В качестве первичных измерительных преобразователей используются средства измерения утверждённого типа, выпускаемые серийно отечественной или зарубежной промышленностью, и признанные пригодными к применению по результатам поверки в установленном в Российской Федерации порядке.

4. Нейтронно-физические и теплофизические исследования

В качестве вторичных измерительных преобразователей используются устройства сбора данных УСД, зав. № 1211-11-20 ЛКВШ 17.804.0920.00 ИВК-У КМС. Часть вторичных измерительных преобразователей откалибрована по методике № МС-20-409, а часть прошла процедуру определения метрологических характеристик по индивидуальному методу, включающему в себя расчёт неопределённости результатов измерений и оценку максимальных погрешностей.

Регистрация, запись и обработка опытных данных производится с помощью сервера МК АСНИ ЛКВШ 09.801.0000.00.

На ЭУ «Корвет-2» принята следующая система кодировки позиций измерения параметров:

«Т»	«С»	«RY1»
«1»	«2»	«3»

«1» – тип измеряемого параметра

Т – температура;
PI – избыточное давление;
PD – разность давлений;
G – расход.

«2» – измеряемая среда

F – вода, пар;
C – стенка.

«3» – место измерения

RY1 – РУ 1;
RY2 – РУ 2;
CC – контур циркуляции;
TO – теплообменник;
K – короб;
in – на входе;
out – на выходе.

На рисунке 5 представлена принципиальная схема ЭУ «Корвет-2» с расположением датчиков в контуре циркуляции ЭУ.

Для измерения температуры теплоносителя в подъёмной трубе используются датчики TFK_out, TFCC и TFCC_TO_in, для измерения температуры теплоносителя в опускной трубе – датчик TFK_in. Измерение температуры охлаждающей воды на входе-выходе теплообменника выполняется с помощью датчиков TFTO_in и TFTO_out соответственно.

Для измерения объёмного расхода конденсата в опускном трубопроводе на входе в короб используется датчик GFK_in.

Измерение уровня теплоносителя в ЭУ выполняется при помощи датчика PDFCC. Перепад давления на выходе из короба в подъёмном участке трубопровода измеряется при помощи датчика PDFK_out.

На рисунке 6 приведена схема расположения датчиков температуры теплоносителя в коробе.

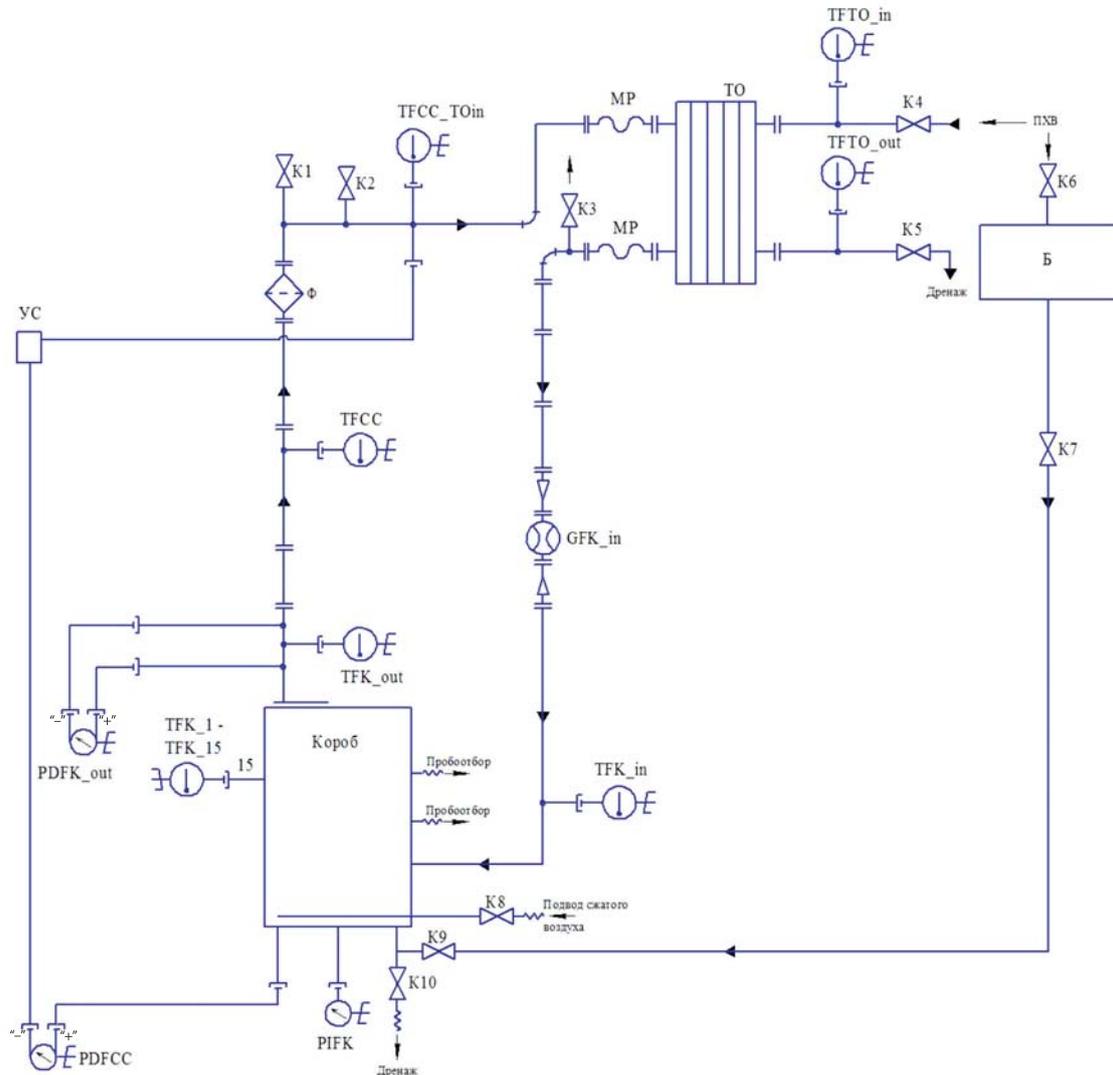


Рисунок 5 – Принципиальная схема ЭУ «Корвет-2» с расположением датчиков:

K1 – K10 – клапаны, TF – термодатчики, GF1 – датчик расхода,
 PD, PI – датчики измерения давления, Ф – фильтр сетчатый,
 УС – уравнильный сосуд, MP – металлорукав, ТО – теплообменник-конденсатор,
 Б – ванна для подготовки теплоносителя.

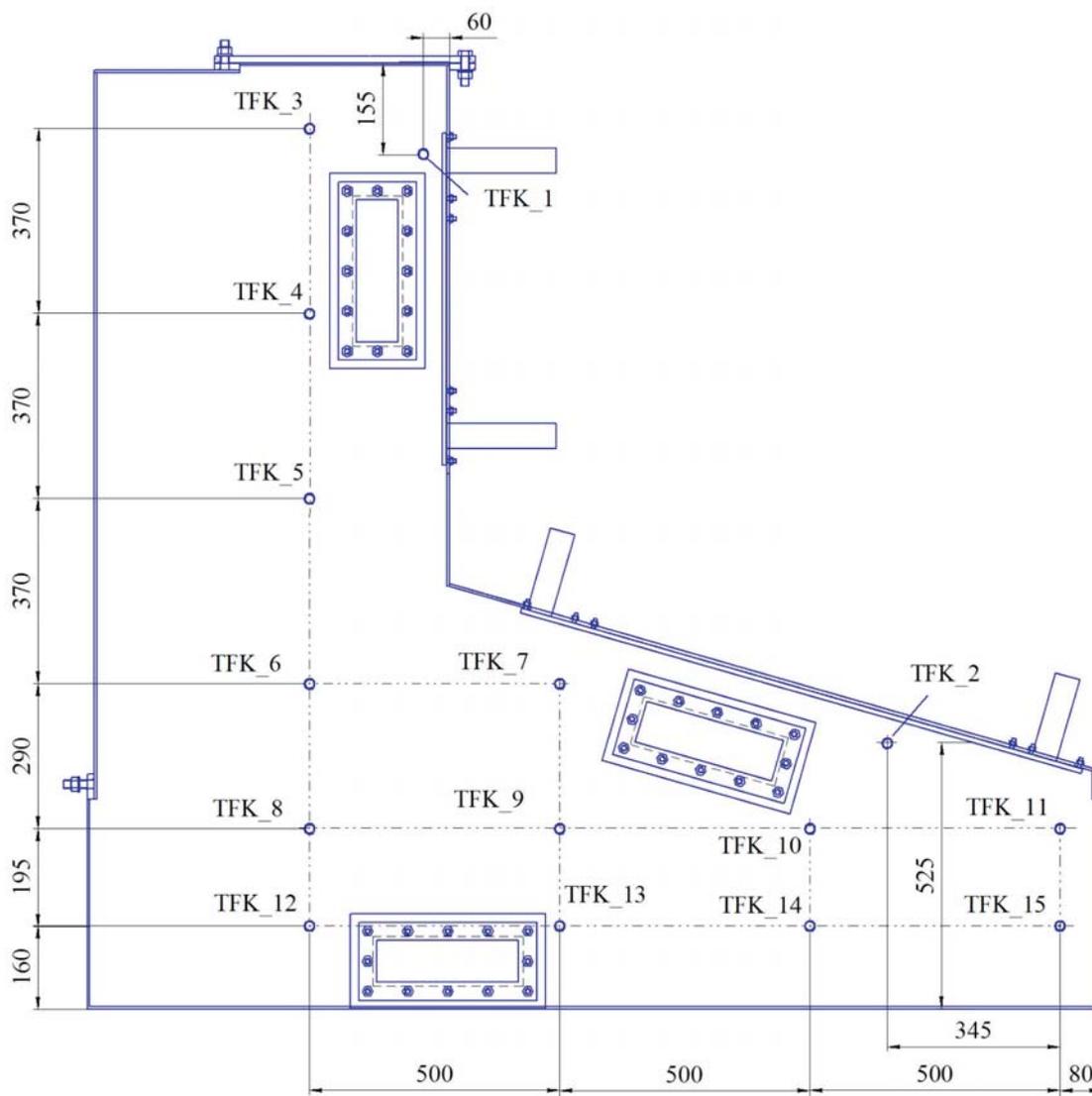


Рисунок 6 – Схема расположения датчиков температуры теплоносителя в коробе

Температура теплоносителя в объёме короба измеряется с помощью термодатчиков TFK_1–TFK_15.

Датчики температуры в коробе, трубопроводах контура циркуляции и охлаждения теплообменника располагаются таким образом, что чувствительная часть датчика находится по центру области измерения.

На рисунке 7 показано расположение датчиков температуры на рабочих участках.

Для контроля температуры РУ1 используются датчики TCRY1_1–TCRY1_7, глубина заделки чувствительных элементов датчиков – 2 мм. Для контроля температуры РУ2 используются датчики TCRY2_1–TCRY2_10, глубина заделки чувствительных элементов датчиков – 3 мм.

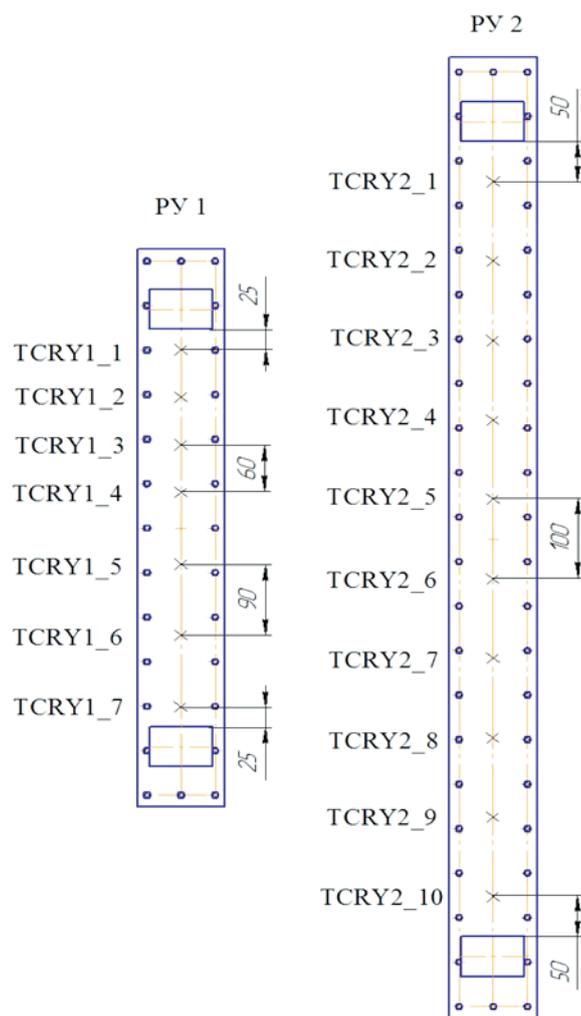


Рисунок 7 – Схема расположения датчиков температуры на рабочих участках

Список измеряемых параметров на ЭУ «Корвет-2» представлен в таблице 2.

Таблица 2

Изменяемые параметры ЭУ

Изменяемый параметр	Кодировка датчика	Тип датчика	Диапазон измерения
Температура воды на входе в кораб	TFK_in	Термометр сопротивления ТСПТ-201	от минус 50 до плюс 300 °С
Температура воды на выходе из кораб	TFK_out	Термометр сопротивления ТСПТ-201	от минус 50 до плюс 300 °С
Температура воды в контуре циркуляции	TFCC	Термометр сопротивления ТСПТ-201	от минус 50 до плюс 300 °С
Весовой уровень жидкости	PDFCC	Датчики перепада давления Метран-100-ДД	от 0 до 630 кПа

Продолжение таблицы 2

Измеряемый параметр	Кодировка датчика	Тип датчика	Диапазон измерения
Измерение перепада давления на выходе из короба	PDFK_out	Датчики перепада давления EDR-75	от 0 до 20 кПа
Электрический ток на РУ	I1	УСД ЛКВШ 17.804.0920.00	от 0 до 12 кА
Напряжение электропитания на РУ	U1	УСД ЛКВШ 17.804.0920.00	до 12 В
Масса дебриса	–	Весы электронные СВХ-32КН *	от 5 до 32000 г
Температура РУ1	TCRY1_1 – TCRY1_7	Термопара КТХА 02.01	от минус 40 до плюс 800 °С
Температура РУ2	TCRY2_1 – TCRY2_10	Термопара КТХА 02.01	от минус 40 до плюс 800 °С
Температура воды в контуре циркуляции на входе в ТО	TFCC_TOin	Термометр сопротивления ТС-1088 *	от минус 50 до плюс 250 °С
Температура охлаждающей воды на входе в ТО	TFTO_in	Термометр сопротивления ТС-1088 *	от минус 50 до плюс 250 °С
Температура охлаждающей воды на выходе из ТО	TFTO_out	Термометр сопротивления ТС-1088*	от минус 50 до плюс 250 °С
Температура воды в коробе	TFK_1 TFK_2	Термометр сопротивления ТСПТ-201	от минус 50 до плюс 300 °С
	TFK_3 – TFK_15	Термопара КТХА 01.26	от минус 40 до плюс 800 °С
Объёмный расход конденсата в опускном трубопроводе на входе в короб	GFK_in	Расходомер электромагнитный «Взлёт» ЭМ Профи112 МО	от 0,03 до 3 м ³ /ч

Заключение

В обеспечение выполнения НИР «Оценка влияния дебриса и химического состава теплоносителя на процессы теплоотвода от стенки корпуса УЛР» завершена работа по созданию экспериментальной установки, рабочих участков и системы экспериментальных измерений.

5



5. ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И РАДИОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

И.В. Мирошниченко

В 2020 году отделом химико-технологических исследований (ОХТИ) осуществлялись запланированные мероприятия по научно-техническому и регламентному сопровождению комплекса работ по выгрузке и дефектации облучённых тепловыделяющих сборок (ОТВС) после завершения ресурсных испытаний ЯЭУ стенда КВ-1. В соответствии с программой исследований оборудования стенда КВ-1 после окончания компании испытаний выполнялся анализ и обобщение результатов дефектации ОТВС. Исследовался радионуклидный и элементный состав эксплуатационных отложений оборудования стенда. Разрабатывались технические предложения по дезактивации трубных систем парогенераторов стенда КВ-1.

Специалисты ОХТИ принимали активное участие в разработке технической документации в обеспечение создания ЯЭУ стенда с тяжёлым жидкометаллическим теплоносителем (ЖМТ) в части систем обеспечения работоспособности стенда-дожигателя водорода, увлажнителя защитного газа и системы автоматизированного химического контроля газовых сред контура с ЖМТ.

В течение 2020 года проводилось оперативное химико-технологическое обеспечение поддержания норм водно-химических режимов основных и вспомогательных контуров стендовых установок НИТИ. В рамках экологической политики предприятия сотрудниками ОХТИ выполнен большой объём работ по проведению экологического мониторинга выбросов, сбросов и объектов природной среды в районе расположения ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». Материалы по результатам экологического мониторинга представлены в отдельной статье ниже.

Также в 2020 году выполнен большой объём работ по договорам со сторонними организациями, завершено выполнение ряда инициативных работ. Защищена диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. В 2020 году сотрудниками ОХТИ опубликовано пять печатных работ в отечественных и зарубежных изданиях, представлено три доклада на конференциях, три заявки на изобретения, выпущены 31 отчёт по результатам научно-технической деятельности.

Основные результаты исследований по стендовой тематике

Стенд КВ-1. В течение 2020 года выполнялся оперативный химико-технологический контроль параметров водно-химических режимов (ВХР) основных и вспомогательных контуров ЯЭУ, а также инфраструктурных систем стенда в соответствии с регламентной документацией. В связи с вскрытием и разгерметизацией систем первого контура, связанным с проведением технологических работ по выгрузке и дефектации облученных тепловыделяющих сборок (ОТВС), проводилась периодическая корректировка ВХР путём своевременного ввода гидразина и аммиака. В рамках выполнения оперативного и исследовательского контроля технологических сред КВ-1 был организован отбор и анализ более 900 проб водных и газовых сред установки, получено около 6000 результатов измерений.

В порядке реализации общей программы исследований оборудования стенда КВ-1 в части химико-технологических исследований в 2020 году выполнены следующие работы:

- осуществлен внутриреакторный контроль на модернизированном универсальном стенде дефектации состояния оболочек твэлов части ОТВС четвертой загрузки ЯЭУ стенда КВ-1;
- обобщены, систематизированы и проанализированы результаты внереакторного контроля состояния оболочек элементов ОТВС ЯЭУ стенда КВ-1;
- разработаны усовершенствованные схемы выделения летучих форм низкоэнергетических бета-излучающих радионуклидов из газовых сред стенда дефектации ОТВС и определен реальный вклад ^3H , ^{14}C и ^{129}I в формирование суммарной бета-активности при радиометрическом контроле герметичности оболочек ОТВС по реперному радионуклиду ^{85}Kr ;
- определены радионуклидный и элементный (химический) составы поверхностных эксплуатационных отложений на элементах ОТВС стенда КВ-1;
- разработаны технические предложения по дезактивации трубных систем парогенератора стенда КВ-1 в 2021 году.

В итоге выполненных работ получены следующие результаты:

- при дефектации ОТВС во всех газовых пробах объёмная активность ^{85}Kr была ниже значений, отвечающих начальной стадии негерметичности оболочек твэл ($1,0 \cdot 10^5$ Бк/м³ при экспозиции 1 час), иными словами, все исследованные ОТВС (это 40 % от общего количества) – герметичны;
- ни в одной из проб технологических сред стенда дефектации и теплоносителя не обнаружено присутствие продукта деления ^{235}U – ^{129}I (по гамма-линии 40 кэВ), что также свидетельствует об отсутствии негерметичных твэлов;
- суммарная плотность снимаемого в виде спиртовых мазков радиоактивного загрязнения поверхностей верхней части ОТВС составила от 700 до 1400 Бк/м³, в том числе, по радионуклидам: ^{60}Co – (400-700) Бк/м³, ^{54}Mn – (120-200) Бк/м³, содержание ^{137}Cs не превышало 120 Бк/м³;
- суммарная плотность снимаемого радиоактивного загрязнения поверхностей а.з. ОТВС составила от 230 до 450 Бк/м³ (в 3 раза меньше загрязнений поверхностей верхней части ОТВС), в том числе по радионуклидам: ^{95}Nb – (80-120) Бк/м³, ^{60}Co – (60-150) Бк/м³, ^{54}Mn – (40-90) Бк/м³, содержание ^{137}Cs не превышало 8 Бк/м³;
- плотность загрязнения продуктами коррозии конструкционных материалов составила:

- поверхности вне а.з. в верхней части ОТВС: железо – (60-100) мкг/см², титан – (6,0-11,5) мкг/см², никель – (4-8) мкг/см², хром – (1,0-1,7) мкг/см², марганец – (0,3-0,7) мкг/см²;
- поверхность а.з. ОТВС: железо – (32-40) мкг/см², титан – 3,5 мкг/см², никель – 2,1 мкг/см², хром – 1,0 мкг/см², марганец – 0,16 мкг/см².

Таким образом, плотность отложений продуктов коррозии на поверхностях ОТВС в активной зоне по факту в 2–4 раза ниже такого же показателя в верхней части ОТВС вне активной зоны.

После окончания испытаний по программе кампании испытаний дальнейшая эксплуатация стенда КВ-1 не планируется. Парогенераторы (ПГ) стенда выработали свой ресурс, причем два ПГ из-за разгерметизации трубных систем были в процессе испытаний отсечены от тракта циркуляции теплоносителя. Планируется извлечение ТС ПГ и проведение металлургических исследований. С целью снижения абмиентной мощности дозы гамма-излучения предлагается провести дезактивацию трубных систем и секций негерметичных ПГ перед их разрезкой и передачей на исследования.

При обосновании технологии дезактивации учтена необходимость минимизации объемов образующихся жидких радиоактивных отходов (ЖРО) и возможность их переработки по технологиям, имеющимся в НИТИ. В качестве исходных для обработки поверхностей использованы растворы $H_2C_2O_4$ (5–10 г/л) и H_2O_2 (5–10 г/л), а обработка проведена с отдельным вводом реагентов. При недостаточной эффективности обработки производилась дезактивация по режиму с комбинированием растворов: HNO_3 (10–15 г/л) и $KMnO_4$ (1,5–2,0 г/л). Обработка проводилась в течение 2–4 часов при температуре (85–95)°С с последующим вводом раствора $H_2C_2O_4$ до концентрации 30 г/л и обработкой в течение 2–4 часов при температуре (85–95) °С. По окончании дезактивации производилась отмывка водой высокой частоты в трёхкратном объеме от номинального объема ёмкости, используемой при дезактивации систем и секций ПГ методом погружения.

Стенд КМ-1. В части создания технологических систем стенда КМ-1 разработана РКД, изготовлены и проведены испытания увлажнителя защитного газа и дожигателя водорода, входящих в состав технологического оборудования для поддержания качества СВТ в РУ. Разработана методика атомно-эмиссионного определения примесных компонентов сплава с высокой чувствительностью и прецизионностью. Подготовлены материалы технического проекта для создания на стенде КМ-1 системы автоматизированного химического контроля защитного газа.

Работы ОХТИ по договорам

Работы, выполненные в интересах концерна «Росэнергоатом»

- **Балаковская АЭС.** Выполнение обоснования выбора минимального давления пробы системы АХК теплоносителя первого контура, при котором исключено выделение водорода в режиме нормальной эксплуатации, включая допустимые уровни отклонений концентрации растворенного водорода (э/блоки №№ 1, 2, 3, 4);

- **Белоярская АЭС.** Разработка и обоснование эффективной технологии химической промывки парогенераторов ПГН-272 РУ БН-800 в части проведения исследований по разработке рецептуры растворов и технологии пассивации;
- **Белорусская АЭС (э/блок № 2), Ленинградская АЭС-2 (э/блок № 2), Курская АЭС.** Изготовление и поставка оборудования из состава АСРК (блоки управления БУ4К01, БУ4К10, БСБУ4К01);
- **Кольская АЭС, Билибинская АЭС, Ленинградская АЭС, Белоярская АЭС (э/блоки № 3, 4).** Изготовление и поставка радиометров-спектрометров МГГ-010 со стендами пробоотбора для контроля объёмной активности инертных газов;
- **Ростовская АЭС.** Поставка блочных сорбентов для установки радиохимического выделения реперных радионуклидов «Уран».

Другие работы и услуги:

- по договору с АО «КТЗ» проведена промывка БТС изделия «Сенег» № 4;
- выполнены сборка, наладка, испытания и поставка 14 комплектов обнаружителей взрывчатых веществ «Чуб», изготовлен один комплект ОВВ «Кратос»;
- в рамках авторского надзора оказаны консультационные услуги по поддержанию функционирования системы АСРК энергоблока № 3 Тяньваньской АЭС;
- выполнены в полном объёме пусконаладочные работы на Ленинградской АЭС-2 в отделе главного метролога со стендом АСППР.ЛБК зав. № 05 (KKS 00STG70AX233), проведена стажировка метрологов Ленинградской АЭС-2 работе на автоматизированном стенде АСППР.ЛБК зав. № 05, с участием ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» произведена первичная поверка автоматизированного стенда приготовления поверочных растворов (тип АСППР.ЛБК);
- с использованием радиохимических методик выполнены исследования сорбции радионуклидов в образцах пород с площадки Узбекской АЭС, выданы заключения об устойчивости к дезактивации полимерных покрытий, разработанных отечественными производителями для применения в атомной отрасли.

5.1 Результаты экологического мониторинга выбросов, сбросов и объектов природной среды в районе расположения ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в 2020 году

Е.Б. Панкина, М.П. Глухова

ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» (далее НИТИ) в соответствии с природоохранным законодательством Российской Федерации проводит производственный радиационный и химический контроль в санитарно-защитной зоне (СЗЗ) и зоне наблюдения (ЗН) института. Размещение пунктов пробоотбора при экологическом контроле дано ниже (рисунках 1–3).

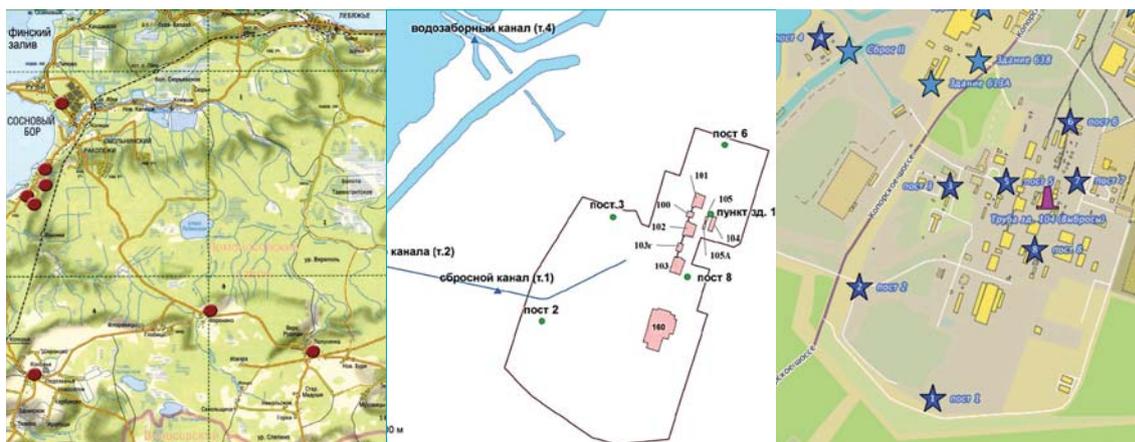


Рисунок 1 – Схема расположения пунктов отбора (контроля) объектов окружающей среды в зоне наблюдения НИТИ

Рисунок 2 – Схема расположения пунктов отбора (контроля) объектов окружающей среды в санитарно-защитной зоне НИТИ

Рисунок 3 – Схема расположения постов № 1–№ 8 АСКРО на территории НИТИ

- – пункты отбора проб аэрозолей атмосферного воздуха, снега, атмосферных выпадений и почвы;
- ▲ – пункты отбора проб поверхностных вод, водорослей и донных отложений.

Применяемый в НИТИ радиоэкологический комплекс автоматизированных и лабораторных методов и средств измерений позволяет оперативно и/или детально проводить мониторинговые наблюдения за изменением радиационного состояния природной среды, включая оценку глобального уровня загрязнения, для ранней диагностики отклонений от нормальной работы стендовых установок НИТИ. В сочетании с расчётными методами оценки радиационных доз технико-методическое обеспечение АСКРО НИТИ становится важным инструментом для принятия решений в случае развития аварийных ситуаций.

Экологический контроль в СЗЗ и ЗН НИТИ осуществляется:

- по нерадиационным факторам – лабораторией инструментального контроля производственных и экологических факторов (ЛИКПЭФ) отдела химико-технологических исследований и группой охраны окружающей среды отдела охраны труда и техники безопасности;
- по радиационным факторам – испытательной лабораторией отдела радиационной безопасности (ИЛ ОРБ) и отделом химико-технологических исследований в области радиоэкологического контроля (ОХТИ РЭК).

5.1.1 Контроль нерадиационных (вредных химических) факторов

ЛИКПЭФ проводит экологический контроль по нерадиационным факторам, зарегистрирована в Государственном реестре под № РОСС RU.0001.21ЭФ12 (рисунок 4). ЛИКПЭФ осуществляет инструментальный контроль качества воды в Копорской губе Финского залива, сбросном и подводящем каналах Института, промышленно-ливневой канализации и дренажных водах, поступающих с промплощадки предприятия. Контроль вод проводится по 20 гидрохимическим показателям в соответствии с «Программой регулярных наблюдений за водным объектом и его водоохраной зоной», согласованной с Невско-Ладожским Бассейновым Водным Управлением (БВУ) на основании лицензии Росгидромета № Р/2015/2942/100/Л.



Рисунок 4 – Аттестат аккредитации ЛИКПЭФ и его выписка из реестра аккредитованных лиц

Водопотребление и водоотведение

Разрешающим документом на пользование водным объектом – Копорской губой Финского залива – является «Решение о предоставлении водного объекта в пользование ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» Невско-Ладожского БВУ № 00-01.03.00.007-М-РСБХ-Т-2018-03380/00. Вода поступает из Копорской губы Финского залива. Основной целью водопотребления является охлаждение технологических сред контуров экспериментальных энергетических установок морской водой.

Отведение сточных вод осуществляется через сбросной канал предприятия в прибрежную часть Копорской губы Финского залива. В состав сточных вод входит морская вода, вода питьевого качества после технологического использования и поверхностные (дождевые и талые) воды. Поверхностная вода дополнительно сформирована стоками сторонних организаций, находящихся в договорных обязательствах с НИТИ. Всего в 2020 году через сбросной канал НИТИ отведено в Финский залив 4313,23 тыс. м³ сточной воды. Основную долю составляет морская вода, используемая прямоотком от охлаждения энергетических установок (88,1 %). Доля воды питьевого качества в общем сбросе составляет 1 % (рисунок 5).

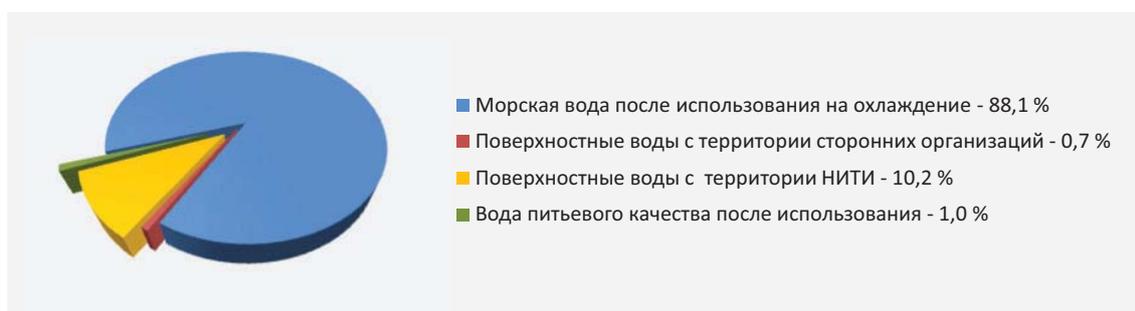


Рисунок 5 – Структура сбросов сточных вод в 2020 году

В 2020 году объём сточных вод НИТИ уменьшился в 2,4 раза по сравнению с 2019 годом в связи с уменьшением объёма водопотребления морских вод.

Сбросы вредных химических веществ

НИТИ при контроле и регулировании сбросов вредных веществ руководствуется «Разрешением № 26-4001-С-16/21 на сброс загрязняющих веществ (за исключением радиоактивных) и микроорганизмов в водные объекты». Разрешение выдано Департаментом федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Северо-Западному федеральному округу и действует по 23.06.2021. С конца 2020 года сброс производится на основании «Декларации о воздействии на окружающую среду», зарегистрированной в Северо-Западном межрегиональном управлении Росприроднадзора от 02.09.2020 № 17/204.

Вода сбросного и подводящего каналов НИТИ

Отбор проб воды из сбросного и подводящего каналов НИТИ на химический анализ проводится одновременно с отбором воды на анализ состава и активности радионуклидов. Результаты химического анализа воды сравнивались с нормативами НДС, установленными действующим Разрешением на сбросы веществ и микроорганизмов в водные объекты (таблица 1).

Таблица 1

Сравнительные результаты химического анализа воды сбросного и подводящего каналов НИТИ в 2020 году относительно действующих НДС, мг/дм³

Наименование загрязняющего вещества	Сбросной канал НИТИ			Подводящий канал НИТИ			НДС
	минимум	максимум	среднее	минимум	максимум	среднее	
рН, ед. рН	7,7	8,5	8,0	7,6	8,3	7,9	6–9 *
Нефтепродукты	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
Взвешенные в-ва	4,0	11,8	6,8	5,5	9,0	7,3	10
ХПК	20,0	39,5	25,8	21,5	28,5	25,5	30,0
БПК полный	1,5	7,6	3,9	2,0	7,2	3,9	3,0
Железо	0,05	0,23	0,08	0,06	0,19	0,10	0,05
Хлориды	1203	1980	1620	934	1798	1500	1980
Сухой остаток	2493	4527	3397	2577	4155	3192	4112
Сульфаты	190	301	254	151	271	232	290,0
Азот аммонийный	0,05	0,27	0,10	0,05	0,25	0,10	0,242
Кислород растворенный	8,3	11,9	10,4	8,7	12,6	10,6	4–зима * 6–лето *

Примечание: * – предельно-допустимые концентрации вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного назначения, мг/дм³.

Вносимые загрязнения сточных вод сбросного канала НИТИ в основном не превышают загрязнений забираемых морских вод и не оказывают влияния на содержание и химиче-

ский состав вод Копорской губы. Повышенное содержание железа в воде сбросного канала связано с его повышенным содержанием в приемной воде подводящего канала, а также со старением (коррозией) основных конструкций, задействованных в формировании выпуска 1, через который проходит объём сбросных вод. Повышенная концентрация растворенного кислорода в водах каналов связана с широкой зоной прогрева воды в результате охлаждения оборудования энергоблоков Ленинградской АЭС.

Сброс вредных химических веществ в водный объект в 2020 году составил 894,526 тонн, что составляет 0,4 % от разрешенного валового сброса (рисунок 6). В общем сбросе сточных вод загрязнения, связанные с химическими веществами 1 и 2 класса опасности отсутствуют. Загрязнения 3 класса опасности составляют 0,03 %, 4 класса – 99,97 % от общего фактического сброса основных загрязняющих веществ.

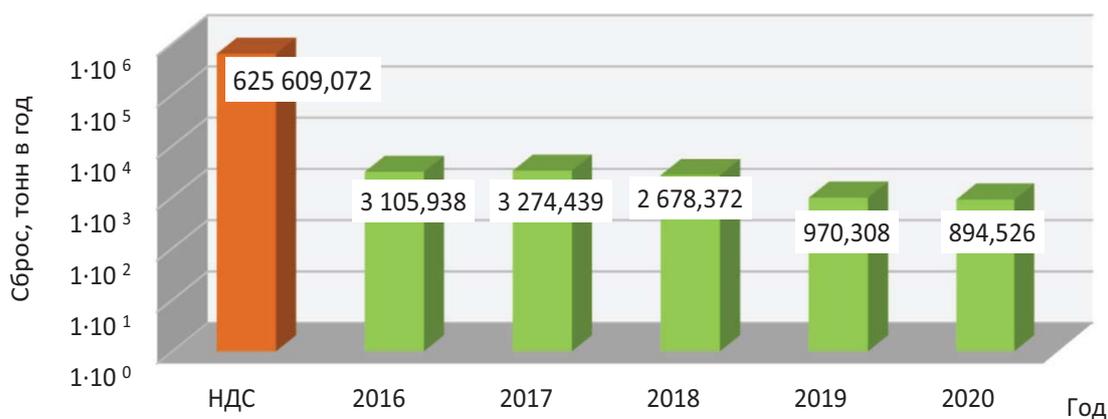


Рисунок 6 – Динамика годовых сбросов вредных химических веществ в окружающую среду

В 2020 году фактический сброс ВХВ в прибрежную часть Копорской губы был на 75,8 тонн меньше, чем в 2019 году.

Выбросы вредных химических веществ

В соответствии с «Разрешением № 26-4669-27-В-18/23 на выброс вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух» норматив суммарного выброса в атмосферу для НИТИ составляет 7,007 тонн в год. Разрешение выдано Департаментом федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Северо-Западному федеральному округу и действует по 27.07.2023. Фактические суммарные выбросы в атмосферу вредных химических веществ в 2020 году составили 1,615 тонн, что в 4 раза ниже установленного норматива (таблица 2, рисунок 7).

Выбросы вредных химических веществ первого класса опасности – отсутствовали. Ни один из 32 показателей выбросов загрязняющих веществ не превысил годовых нормативов ПДВ. Всё пыле-газоочистное оборудование находилось в технически исправном состоянии и улавливало 88,3 % выбрасываемых веществ. Неэффективное оборудование отсутствовало.

Таблица 2

**Валовые выбросы вредных химических веществ по основным веществам
и классам опасности в 2020 году**

Наименование основных загрязняющих веществ	Класс опасности	Норматив ПДВ, т/год	Выбросы	
			т/год	% от ПДВ
Твёрдые вещества	III–IV	0,434431	0,189	44
Диоксид серы	III	0,132091	0,034	26
Оксид углерода	IV	4,213399	0,652	15
Оксиды азота	III	1,471247	0,550	37
ЛОС *	II–IV	0,640469	0,150	23
Углеводороды	–	0,042750	0,010	23
Прочие	II–IV	0,072303	0,030	41
Сумма		7,007	1,615	23

Примечание: * – летучие органические соединения



Рисунок 7 – Динамика годовых выбросов вредных химических веществ в атмосферу от деятельности НИТИ

В связи с понижением в 2018 году тепловой нагрузки на котельную НИТИ и уменьшением времени работы аварийной дизельной в 2019 и 2020 годах снижены выбросы вредных химических веществ в атмосферный воздух по сравнению с предыдущими годами.

5.1.2 Контроль радиационных факторов

ОХТИ РЭК и ИЛ ОРБ проводят экологический контроль по радиационным факторам в соответствии с действующими регламентами на основании аттестатов аккредитации, зарегистрированных в Государственном реестре Росаккредитации под № РОСС СОБ 8.00084.2013 и № RA.RU.21АД90 (рисунок 8–9).



Рисунок 8 – Аттестат аккредитации ИЛ ОРБ



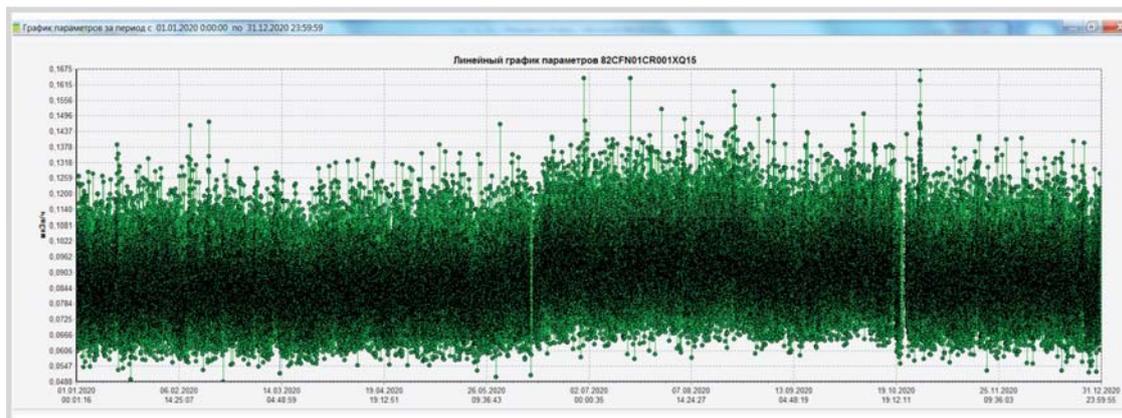
Рисунок 9 – Аттестат аккредитации ОХТИ РЭК и его выписка из реестра аккредитованных лиц

В газо-аэрозольных выбросах и сбросах предприятия, а также в пробах объектов внешней среды определяются суммарная бета-активность, состав и активность бета- и гамма-излучающих нуклидов.

Мощность дозы на промплощадке НИТИ

В НИТИ работает комплекс АСКРО, который позволяет в оперативном порядке проводить контроль и анализ радиационной обстановки на территории предприятия. Технические средства нижнего уровня АСКРО включают: посты радиационного контроля мощности амбиентного эквивалента дозы фотонного излучения (МАЭД), пост радиационного контроля воды, передвижную радиологическую лабораторию, посты радиационного контроля атмосферного воздуха и метеостанцию.

В течение года ежедневно анализировалась суточная информация, поступающая со всех средств нижнего уровня на верхний уровень АСКРО. Организовано ведение суточного журнала эксплуатации и технического обслуживания АСКРО, в котором фиксируются все режимы работы АСКРО. Работа постов контроля МАЭД дает оперативную информацию о радиационной обстановке на промплощадке предприятия. В качестве примера их работа в течение 2020 года показана на графике значений МАЭД, поступающих с поста 1 на центральный пульт контроля и вэб-сайты АСКРО НИТИ (рисунок 10).



	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.
Мин.	0,050	0,050	0,052	0,055	0,051	0,051	0,057	0,058	0,059	0,056	0,053	0,052
Макс.	0,139	0,147	0,131	0,133	0,146	0,164	0,164	0,159	0,161	0,167	0,142	0,141
Сред.	0,085	0,085	0,084	0,085	0,085	0,091	0,094	0,095	0,091	0,092	0,088	0,088
Кол-во	14643	13725	14457	14167	14674	14351	15469	15572	14510	14233	14197	14592

Рисунок 10 – Годовая динамика МАЭД на примере поста 1 АСКРО НИТИ, мкЗв/ч

В результате анализа радиационной обстановки в отчетном году рассчитаны средние значения МАЭД на территориях восьми постов АСКРО (таблица 3). Основной массив значений МАЭД на всех постах АСКРО НИТИ находился в пределах 0,05– 0,21 мкЗв/ч и был ниже контрольного уровня 0,5 мкЗв/ч.

Таблица 3

Диапазон и средние значения МАЭД на промплощадке НИТИ в 2020 году

Номер поста АСКРО НИТИ	Количество измерений	Мощность дозы, мкЗв/ч		
		Минимум	Максимум	Среднее
Пост 1	174590	0,050	0,167	0,089 ± 0,018
Пост 2	183140	0,053	0,181 (0,384*)	0,095 ± 0,019
Пост 3	199228	0,061	0,194	0,105 ± 0,021
Пост 4	185099	0,056	0,176 (0,486*)	0,098 ± 0,020
Пост 5	210520	0,064	0,190	0,108 ± 0,022
Пост 6	174013	0,059	0,211	0,097 ± 0,019
Пост 7	178862	0,057	0,203	0,097 ± 0,019
Пост 8	207293	0,061	0,196 (0,442*)	0,110 ± 0,022

*Примечания: проводились плановые работы лаборатории неразрушающего контроля по дефектоскопии сварных соединений с применением радионуклидных источников.

Краткосрочные превышения значений МАЭД в период проведения работ по дефектации труб на территории НИТИ не повлияли на среднегодовые значения МАЭД, которые на всех постах АСКРО находились в пределах от 0,09 до 0,11 мкЗв/ч. Такие значения сформированы активностью радионуклидов природного происхождения, характерны для многолетнего гамма-фона нашей зоны наблюдения и свидетельствуют о благоприятной радиационной обстановке на контролируемой территории. Значения МАЭД АСКРО НИТИ хорошо согласуются с данными контроля МАЭД АСКРО Ленинградской АЭС за пределами промплощадки НИТИ (таблица 4).

Таблица 4

Мощность дозы в зоне наблюдения по данным АСКРО ЛАЭС в 2020 году

Номер точки контроля	Направление	Расстояние, км	Кол-во измерений	Мощность дозы, мкЗв/ч		
				от выбросной трубы НИТИ	минимум	максимум
р. Воронка	ЮЗ	3,6	43187	0,07	0,15	0,100 ± 0,020
Сад-во «Энергетик»	СВ	5,5	43194	0,06	0,13	0,079 ± 0,016
г. Сосновый Бор (Фос-1)	ССВ	6,6	43171	0,08	0,15	0,110 ± 0,022
п. Копорье	Ю	14,2	43198	0,08	0,15	0,110 ± 0,022
п. Шепелево	С	15,6	43150	0,07	0,16	0,116 ± 0,023
оз. Копанское	ЗЮЗ	18,3	43196	0,17	0,21	0,189 ± 0,038
п. Лопухинка	ЮВ	23,0	43050	0,13	0,18	0,149 ± 0,030
п. Б. Ижора	СВ	31,6	32299	0,06	0,15	0,084 ± 0,017
п. Бегуницы	ЮЮВ	30,8	41056	0,06	0,19	0,091 ± 0,018
с. Котельский	ЮЮЗ	31,8	42528	0,08	0,18	0,092 ± 0,018

Размах и средние значения МАЭД в санитарно-защитной зоне НИТИ (результаты измерений АСКРО НИТИ) и в зоне наблюдения НИТИ (результаты измерений АСКРО ЛАЭС) находятся на одинаковом и безопасном уровне.

Сбросы радионуклидов

Институт при контроле и регулировании сбросов радиоактивных веществ руководствуется «Разрешением на сброс радиоактивных веществ в водный объект» № СЕ-СРВ-210-66 сроком действия до 15.01.2024, выданным СЕ МТУ по надзору за ядерной и радиационной безопасностью.

Вода сбросного и подводящего каналов НИТИ

В 2020 году радионуклидный состав воды сбросного и подводящего каналов определялся ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{40}K и реже – ^3H . В пределах погрешностей отсутствовало различие между объемной активностью радионуклидов в воде сбросного и подводящего каналов (рисунок 11).

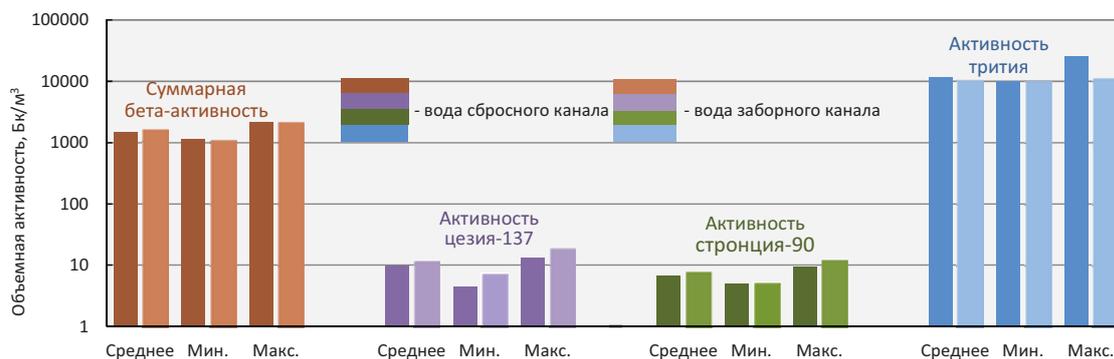


Рисунок 11 – Результаты контроля объёмной активности радионуклидов в водах сбросного и подводящего каналов НИТИ в 2020 году

Гамма-спектрометрический анализ воды подтверждает, что природный радионуклид ^{40}K вносит основную долю в суммарную бета-активность вод сбросного и подводящего каналов. Среднегодовая объёмная активность радионуклидов в обоих каналах составляла: ^{137}Cs – 10 Бк/м³, ^{90}Sr – порядка 7 Бк/м³. Достоверное значение трития в воде каналов зарегистрировано только в сентябре с максимальной активностью 25 Бк/дм³, что в 304 раза меньше установленного уровня вмешательства (УВ) для трития по НРБ-99/2009.

По результатам радиационного мониторинга 2020 года объёмная активность радионуклидов в воде сбросного и подводящего каналов достоверно не отличается друг от друга. Поэтому сброс радиоактивных веществ оценивался по результатам контроля объёмов и активности воды в накопительных баках, сливы из которых организованы в сбросной канал НИТИ. Всего в 2020 году из сливных баков в сбросной канал НИТИ поступило 7858,9 м³ воды. Активность годового сброса радионуклидов без учёта трития составила $1,30 \cdot 10^6$ Бк, активность сброса трития – $1,72 \cdot 10^{10}$ Бк (таблица 5).

Таблица 5

Состав и активность сбросов в 2020 году

Радионуклиды	Разрешенный допустимый сброс (ДС), Бк/год	Фактический сброс	
		Бк/год	% от ДС
^3H	$3,25 \cdot 10^{15}$	$1,72 \cdot 10^{10}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$
^{60}Co	$7,22 \cdot 10^{10}$	$1,51 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^{-4}$
^{90}Sr	$1,59 \cdot 10^{12}$	$2,69 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
^{137}Cs	$2,72 \cdot 10^{12}$	$8,79 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^{-5}$
Сумма (без учёта активности ^3H)		$1,30 \cdot 10^6$	–

Общая активность нуклидов в сбросе за 2020 год не превысила соответствующих показателей норматива ДС. Уменьшение активности сброса в 2018–2019 году по сравнению с 2017 годом связано с прекращением испытаний на одной из стендов НИТИ (рисунок 12).



Рисунок 12 – Динамика активности годовых сбросов НИТИ

Данные многолетней динамики активности годовых сбросов НИТИ показывают безопасную работу стендовых установок предприятия. За всю историю деятельности предприятия активность сбросов не превышала допустимых нормативов годового сброса.

Выбросы радионуклидов

НИТИ при контроле и регулировании выбросов радиоактивных веществ в атмосферу руководствовалась «Разрешением № СЕ-ВРВ-210-67 на выброс радиоактивных веществ в атмосферный воздух». Срок его действия до 27.02.2027.

В 2020 году основной вклад в активность выброса приходится на ИРГ (радионуклид ⁸⁵Kr, таблица 6). Годовая активность аэрозолей в выбросах НИТИ составила $7,25 \cdot 10^5$ Бк. Общие выбросы радиоактивных веществ в атмосферу от заявленной деятельности НИТИ были значительно ниже ДВ и составили $1,54 \cdot 10^8$ Бк.

Таблица 6

Состав и активность газо-аэрозольных выбросов в 2020 году

Радионуклиды	Разрешенный допустимый выброс (ДВ), Бк	Фактический выброс	
		Бк	% от ДВ
⁸⁵ Kr	$7,51 \cdot 10^{13}$	$1,53 \cdot 10^8$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
¹³⁷ Cs	$2,84 \cdot 10^{10}$	$4,12 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
⁹⁰ Sr	$1,14 \cdot 10^{10}$	$2,28 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^{-3}$
⁶⁰ Co	$5,10 \cdot 10^9$	$7,07 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
⁵⁴ Mn	$1,35 \cdot 10^9$	$1,47 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^{-3}$

Данные многолетней динамики активности годовых выбросов НИТИ показывают безопасную работу стендовых установок предприятия (рисунок 13).

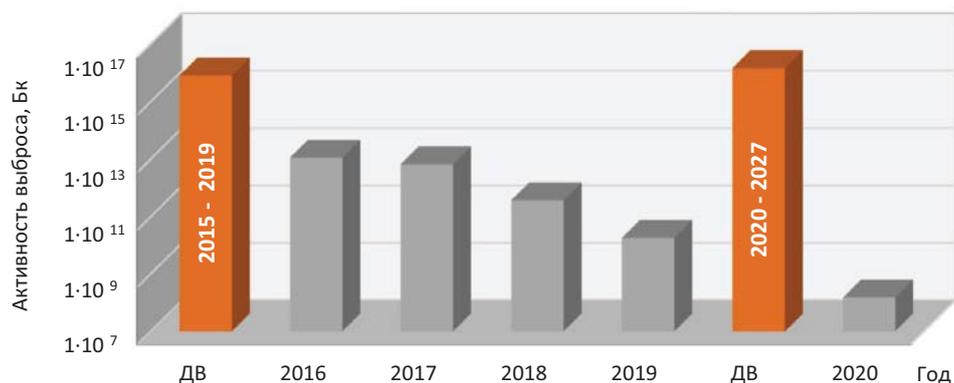


Рисунок 13 – Динамика активности годовых выбросов НИТИ

Снижение активности выбросов с 2018 года связано с окончанием заключительной кампании одной из стендовых ЯЭУ. Активность выбросов ни разу не превышала допустимых нормативов годового выброса (ДВ).

Результаты радиационного мониторинга объектов природной среды

Воздушная среда на территории НИТИ

Природными объектами контроля воздушной среды являются приземный слой атмосферного воздуха и атмосферные выпадения.

В 2020 году в составе АСКРО НИТИ стабильно работали посты радиационного контроля воздушной среды. Непрерывные отборы проб аэрозолей атмосферного воздуха на площадке НИТИ осуществлялись на фильтры ФПП-15-1,5 на 4 постах (рисунок 14). Из четырёх постов самый «чистый» атмосферный воздух по количеству и активности радионуклидов наблюдался около поста 2, который расположен с наветренной стороны технологических зданий НИТИ и промзоны г. Сосновый Бор.



Рисунок 14 – Экспозиция аэрозольного фильтра внутри поста АСКРО НИТИ

В приземном слое воздуха на территории НИТИ каждый месяц присутствовал ^{137}Cs , с высокой частотой обнаружения – радионуклиды коррозионного происхождения: ^{60}Co и ^{54}Mn (рисунок 15).

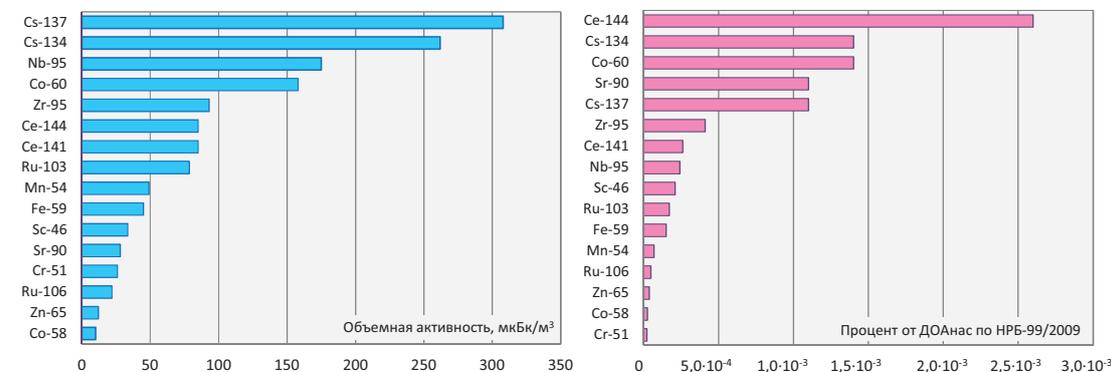


Рисунок 15 – Максимальная объёмная активность нуклидов в аэрозолях атмосферного воздуха в СЗЗ НИТИ и их значимость относительно ДОА_{НАС} по НРБ-99/2009

Из анализа данных 2020 года следует, что на территории НИТИ максимальное содержание радионуклидов в атмосферном воздухе на 4–7 порядков ниже величин соответствующих ДОА_{НАС}, установленных НРБ-99/2009. С этой точки зрения наиболее значимыми из обнаруженных нуклидов являются ^{144}Ce , ^{134}Cs и ^{60}Co . Максимальные уровни активности радионуклидов регистрировались в течение года на посту 6, который находится на границе с предприятиями атомно-промышленного комплекса г. Сосновый Бор, выполняющими сбор, переработку и хранение радиоактивных отходов. Максимальная объёмная активность радионуклидов в аэрозолях атмосферного воздуха зарегистрирована для ^{137}Cs и составляет 308 мкБк/м³ – тысячные доли % от ДОА_{НАС}.

По данным гамма-спектрометрического анализа изотопы йода в аэрозолях атмосферного воздуха не обнаружены, что свидетельствует о высокой эффективности фильтров очистки газо-аэрозольных выбросов в НИТИ. Низкие уровни объёмной активности нуклидов в атмосферном воздухе в 2020 году подтверждают благополучное радиационное состояние воздушной среды на территории НИТИ.

Хвойные породы (сосна) зоны наблюдения НИТИ

Пробы хвои сосны отбирались в конце сентября 2020 года после окончания формирования свежих приростов. Хвоя является биологическим фильтром-индикатором выбросов НИТИ и близлежащих предприятий. По нашим данным среднее содержание суммы бета-излучающих радионуклидов в хвое по району контроля составляет 90 Бк/кг сырой массы (таблица 7).

Таблица 7

Результаты измерений удельной активности радионуклидов в пробах хвои района контроля в 2020 году

Место отбора	Дата отбора	Удельная активность, Бк/кг сырой массы				
		$\Sigma\beta$ -активность	^{137}Cs	^{90}Sr	^{60}Co	^{40}K
НИТИ	23.09.2020	80 ± 10	2,0 ± 0,3	0,46 ± 0,16	0,30 ± 0,10	70 ± 10
ЛАЭС	30.09.2020	85 ± 10	0,41 ± 0,10	0,25 ± 0,09	0,45 ± 0,13	80 ± 10
г. Сосновый Бор	30.09.2020	100 ± 10	2,5 ± 0,3	< 0,20	0,32 ± 0,10	70 ± 10
с. Копорье	30.09.2020	100 ± 10	0,86 ± 0,20	0,70 ± 0,24	< 0,16	110 ± 10

В пробах хвои, наряду с ^{137}Cs и ^{90}Sr , зарегистрирован ^{60}Co максимальной удельной активностью 0,45 Бк/кг. Удельная активность техногенных радионуклидов в хвое в среднем по району составляла не более 3,5 % от общей бета-активности, которая в основном определялась природным радионуклидом ^{40}K .

Почвенно-растительный покров зоны наблюдения НИТИ

По данным 2020 года в почвенном покрове, как в накопительной экосистеме, содержание радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs больше, чем в растительном покрове, который обновляется ежегодно (рисунок 16). Это подтверждается данными прошлых лет.

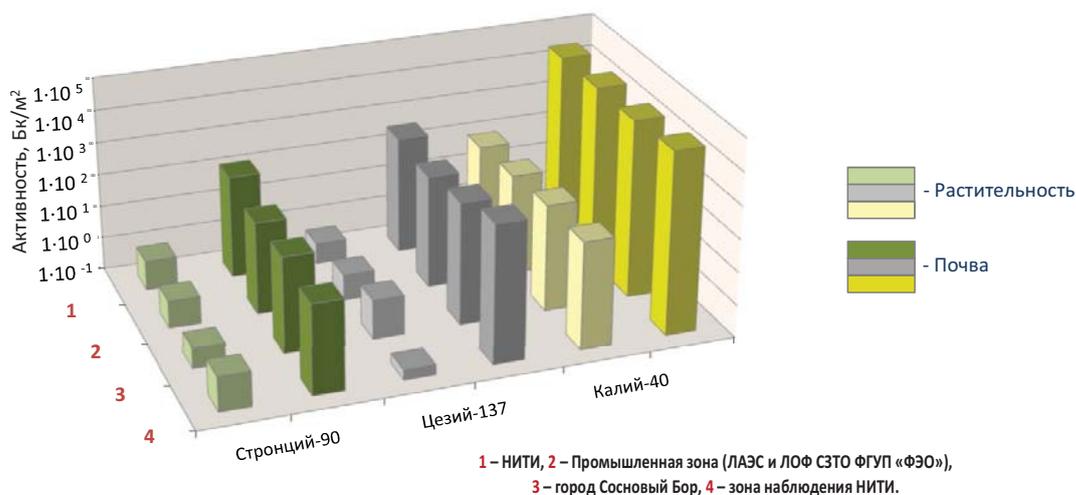


Рисунок 16 – Распределение нуклидов в суммарной активности почв и растительности района контроля в 2020 году

Активность почвенно-растительного покрова в районе контроля, так же, как и водных сред, определялась активностью ^{40}K природного происхождения, доля которого в 2020 году для почв составляла в среднем 98,5 %, для растительности – 99,1 %. Кроме ^{40}K в почве и растительности присутствовали ^{90}Sr и ^{137}Cs . Радионуклид ^{60}Co в безопасных уровнях активности (0,32 Бк/м²) обнаружен в растительности, отобранной возле территории ЛОФ СЗТО ФГУП «ФЭО». Другие радионуклиды в почвенно-растительном покрове в 2020 году не зарегистрированы. Плотность поверхностного загрязнения почвенных покровов в СЗЗ и ЗН НИТИ не превысила значений прошлых лет и в среднем составила: ^{137}Cs – 700 Бк/м², ^{90}Sr – 90 Бк/м². На территории НИТИ в 2020 году плотность поверхностного загрязнения почвы ^{137}Cs находилась на уровне 380 Бк/м², ^{90}Sr – 140 Бк/м². В среднем по району контроля уровни загрязнения растительности составили: ^{137}Cs – 0,58 Бк/м², ^{90}Sr – 0,80 Бк/м².

Грунтовые воды на промплощадке НИТИ

Мониторинг грунтовых вод на территории НИТИ проводился в 45 скважинах наблюдательной сети. Из них 12 скважин новой сети. Чтобы их отличить от действующих скважин 2004 года закладкам присвоен индекс «Н». Суммарная объёмная активность грунтовых вод практически обусловлена природным нуклидом ^{40}K (рисунок 17).

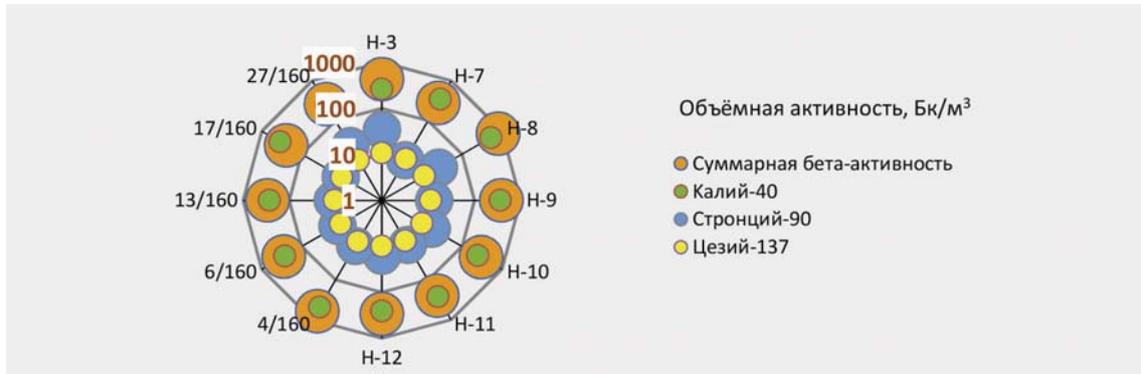


Рисунок 17 – Объемная активность радионуклидов в грунтовых водах на промплощадке НИТИ

Разброс данных по суммарной бета-активности грунтовых вод (130–950 Бк/м³) объясняется различной массой мелкодисперсных и коллоидных частиц, которые остаются в пробах грунтовых вод после отделения относительно крупных взвешенных веществ с помощью фильтров «белая лента», предусмотренных методикой пробоподготовки. Радионуклидный состав обследованных вод достоверно представлен ⁹⁰Sr в диапазонах объемных активностей на уровне прошлого года – от 10 до 52 Бк/м³. Содержание гамма-излучающих нуклидов не зарегистрировано. Объемная активность техногенных радионуклидов в пробах грунтовых вод не превышала УВ по НРБ-99/2009. По данным мониторинга радиационное состояние грунтовой воды на территории НИТИ является благополучным.

Воздействие радиационных факторов на население

Оценка воздействия деятельности НИТИ на население города Сосновый Бор проведена по расчёту индивидуальных эффективных доз от выбросов и сбросов предприятия. Расчёты доз проведены с учётом того, что ближайшая граница города находится в 5 км от НИТИ.

В 2020 году годовая эффективная доза для населения на 96 % определялась водными сбросами предприятия и лишь на 4 % – газо-аэрозольными выбросами. Суммарная эффективная доза жителя города Сосновый Бор от всех источников облучения предприятия (выбросы, сбросы) в 2020 году составила $3,29 \cdot 10^{-11}$ Зв (рисунок 18). Этот уровень существенно ниже квоты 0,2 мЗв, выделенной НИТИ на выбросы и сбросы радионуклидов, а тем более основного предела доз для населения, регламентированного федеральными Нормами радиационной безопасности НРБ-99/2009, который составляет 1 мЗв в год.



Рисунок 18 – Структура индивидуальной эффективной дозы на население г. Сосновый Бор от деятельности НИТИ в 2020 году

Результаты радиационного мониторинга на промплощадке (СЗЗ НИТИ) и в зоне наблюдения НИТИ за отчётный период свидетельствуют о сохранении нормальной радиационной обстановки в районе расположения предприятия. Это является следствием незначительного влияния эксплуатации действующих стандовых установок и процессов обращения с радиоактивными отходами на радиационное состояние объектов природной среды контролируемой территории.

5.2 Расчётно-экспериментальные исследования растворимости газов в обоснование теплофизических параметров систем АХК теплоносителя первого контура АЭС с ВВЭР

А.Н. Гудошников, А.И. Горшков, О.В. Прохоркина,
А.Н. Мельниченко, Ю.В. Цапко, Е.Е. Щербаков

В соответствии с современными требованиями к обеспечению безопасности эксплуатации энергоблоков АЭС с ВВЭР предусматривается автоматизация процессов контроля состояния водно-химического режима (ВХР) первого контура, в том числе, и по химическим показателям. При этом одним из ключевых показателей безопасности эксплуатации энергоблока, требующих оперативного мониторинга, является концентрация растворенного водорода в теплоносителе первого контура. В виду ограниченности по рабочему давлению широко применяемых в таких случаях, анализаторов водорода, основанных на амперометрическом принципе, актуальным является выбор минимального давления и температуры, который бы обеспечивал надёжную растворимость не только водорода, но и других влияющих на стабильность и представительность пробы газов, присутствующих в теплоносителе первого контура. Поскольку работа широко применяемых анализаторов растворенного водорода, как правило, ограничивается давлением 8 избыточных атмосфер и в литературе отсутствуют данные о влиянии растворенных в теплоносителе первого контура веществ на растворимость газовых компонентов, то одной из основных задач данной работы являлось проведение экспериментальных исследований такого влияния.

Для автоматизированного измерения концентрации растворенного водорода в теплоносителе первого контура энергоблоков ВВЭР-1000 предусматривается использование системы автоматизированного химического контроля теплоносителя первого контура (АХК1). В состав системы АХК1 входит комплекс подготовки проб (КПП) теплоносителя и подпиточной воды первого контура. КПП обеспечивает подготовку пробы и её доставку к линии точного анализа автоматическими средствами измерения концентрации растворенных водорода, кислорода, рН и удельной электрической проводимости в установленных диапазонах расходов, температур и давления.

Контрольные уровни и диапазоны нормируемых показателей, принятых для первого контура, представлены в таблице 1 и в виде диаграммы на рисунке 1. В качестве ориентировочных физико-химических, теплофизических и режимных параметров были приняты следующие условия:

- солесодержание (борной кислоты) при работе энергоблока на мощности более 50 % $N_{ном}$;
- диапазон изменения давления пробы в КПП системы до $0,7 \pm 0,05$ МПа, температура пробы 25 ± 3 °С;
- диапазоны значений концентрации водорода в режиме нормальной эксплуатации энергоблока, а также в условиях допустимых уровней отклонений по концентрации растворенного водорода в соответствии нормами, приведенными в таблице 1 [1].

К основным факторам, определяющим газовыделение в точке отбора пробы, относятся температура и давление в точке установки газоанализатора на линии проточного анализа, а также состав теплоносителя, включая общее содержание растворенных газов.

Таблица 1

Нормы качества теплоносителя при работе энергоблока на мощности более 50 % $N_{ном}$

Нормируемые показатели				
Наименование показателей	Диапазон допустимых значений	Отклонения от допустимых значений		
		1 уровень	2 уровень	3 уровень
Концентрация растворенного кислорода, мг/дм ³	не более 0,005	свыше 0,005 до 0,02	свыше 0,02 до 0,1	свыше 0,1
Концентрация растворенного водорода, мг/дм ³	от 2,2 до 4,5	свыше 4,5 до 7,2 или менее 2,2 до 1,3	свыше 7,2 до 9,0 или менее 1,3 до 0,5	свыше 9,0 или менее 0,5
Диагностические показатели				
Наименование показателей	Контрольные уровни			
Удельная электропроводность, мксм/см	от 20 до 200			
Концентрация аммиака, мг/дм ³ , не менее	5,0			

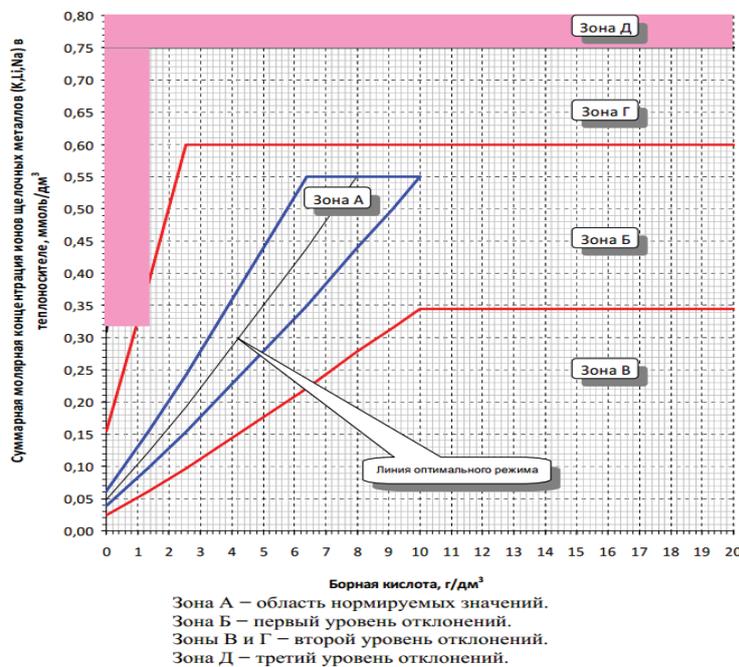


Рисунок 1 – Координирующая зависимость суммарной молярной концентрации ионов щелочных металлов (калия, лития и натрия) в зависимости от текущей концентрации борной кислоты

В общем случае растворимость газов определяется законом Генри, который устанавливает прямую пропорциональность между летучестью компонента f_2 и его молярной долей в растворе n_2 (моль газа/общее число молей воды и молей всех газов). Множителем пропорциональности является коэффициент Генри $H_2(P, T)$, зависящий от давления и температуры, но не от концентрации газа [2]:

$$f_2(P, T, n_2) = H_2(P, T) n_2 \quad (1)$$

При низких давлениях закон Генри выражается уравнением, в котором парциальное давление компонента при заданной температуре пропорционально его содержанию в жидкости:

$$P_i = H_i(T) n_i \quad (2)$$

При соблюдении законов идеальных газов, коэффициент закона Генри зависит только от температуры и выражается следующим образом:

$$H_i(T) = 1/N_i^{eq}(T), \quad (3)$$

где $N_i^{eq}(T)$ – молярная доля растворенного в воде газа при равновесии воды с газом, парциальное давление которого составляет 1 атм.

Выражая концентрацию растворенного газа C_i в объёмах, приведенных к состоянию идеального газа при давлении 1 атм. и температуре 0 °С к объёму жидкости, условие дегазации в зависимости от температуры и концентрации газовых компонентов получим в виде:

$$P_s + \sum C_i/K_i > P, \quad (4)$$

где K_i – коэффициент распределения (концентрация газа в воде при равновесии её с газом, парциальное давление которого равно 1 атм), $\text{дм}^3/\text{дм}^3 \cdot \text{атм}$.

Наличие в системах вода-газ высокой концентрации электролитов отражается на растворимости в воде газов. Зависимость растворимости в водном растворе газового компонента от концентрации соли описывается уравнением Сеченова [2]:

$$\text{Lg}(S^*/S) = -k \cdot C, \quad (5)$$

где: S^* – растворимость газа в воде, содержащей электролит;

S – растворимость газа в чистой воде;

C – концентрация электролита;

k – коэффициент Сеченова.

Коэффициент Сеченова (коэффициент высаливания) k зависит от природы газа и электролита, давления и температуры. Его значение, кроме того, зависит от способа выражения концентрации электролита. Из уравнения (5) следует, что растворимость газа экспоненциально уменьшается с ростом концентрации электролита ($S^* = S \cdot 10^{-k \cdot C}$). Коэффициент Сеченова определяют экспериментально.

Применительно к условиям определения водорода на линиях АХК1 электролитами, которые могут повлиять на растворимость газов в водном теплоносителе, являются борная кислота, гидроксид калия (гидроксиды щелочных металлов). Справочные данные по раство-

римости газов в растворах борной кислоты и гидроксида калия, а тем более в смеси этих веществ, отсутствуют. Следовательно, потребовалась экспериментальная количественная оценка влияния электролитов, содержащихся в теплоносителе на растворимость водорода.

Также с учётом того, что в теплоносителе за счет протекания радиационно-химических процессов с участием компонентов вводимых в теплоноситель первого контура (гидразин, аммиак), а также наличия растворенного азота, не удаленного из воды подпитки и заполнения, в теплоносителе постоянно содержится значительное количество растворенного азота. Концентрация азота в теплоносителе не нормируется и не является обязательной для определения. При этом азот в соответствии с условиями, следующими из закона Генри-Дальтона (уравнение 4) напрямую обуславливает предельное давление, при котором начинается дегазация пробы водного теплоносителя. Поскольку растворенный азот совместно с водородом является основным газовым компонентом теплоносителя первого контура ВВЭР, данные о его содержании могут быть получены косвенно из результатов газохроматографических измерений растворенного водорода и газосодержания проб, определяемого при проведении ручного пробоотбора [3]. Результаты расчётно-экспериментального определения растворенного азота в теплоносителе первого контура энергоблоков № 1, 2, 3, 4 Балаковской АЭС представлены на рисунке 2 в виде графиков зависимости концентрации растворенного азота во времени при работе на мощности.

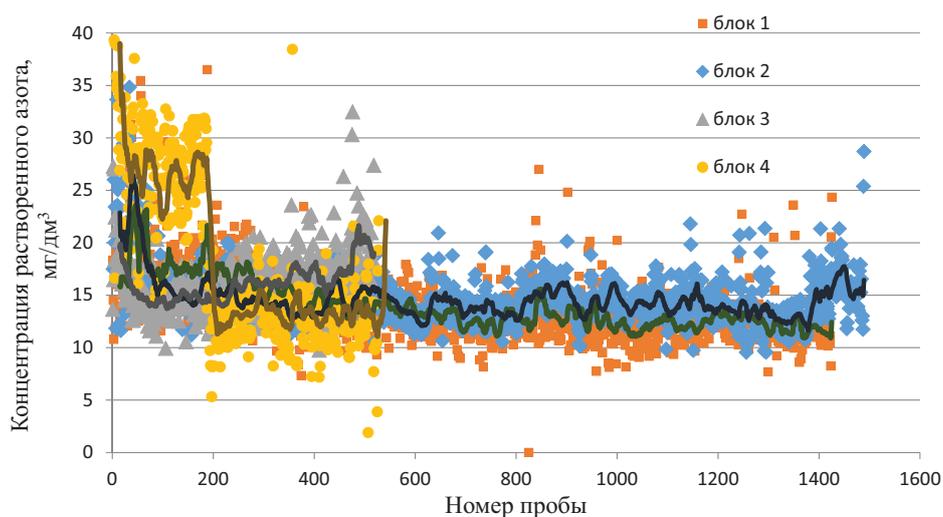


Рисунок 2 – Содержание растворенного азота в теплоносителе первого контура на примере энергоблоков ВВЭР Балаковской АЭС

Как следует из приведенных данных, концентрация растворенного в теплоносителе азота варьируется в диапазоне от 10 до 30 мг/дм³. Для гарантированного отсутствия эффекта дегазации пробы в расчётах принималось максимальное значение концентрации растворенного азота – 30 мг/дм³.

С целью учёта дополнительных факторов влияния на оценку максимального значения концентрации растворенного азота во внимание также был принят эффект влияния гидразин-гидрата и аммиака, используемых в качестве корректирующих добавок. Таким образом, имеемое содержание растворенного азота в исходной воде – не более 11 мг/дм³ (растворимость азота при его 100 % содержании над раствором при давлении 1 атм). За счёт того, что при удалении растворённого кислорода требуется 2–3-х кратный стехиометрический избыток

гидразина относительно содержания растворенного кислорода, его концентрация в растворе составит не более 24 мг/дм^3 (содержание молекулярного азота – 21 мг/дм^3). Содержание аммиака (при переходе с 30 % мощности на уровни более 50 %) – порядка 15 мг/дм^3 (содержание молекулярного азота – $12,4 \text{ мг/дм}^3$). Следовательно, сумма составляет величину порядка 40 мг/дм^3 . Безусловно, данное значение может приниматься как ориентировочное, поскольку теплоноситель, частично направляемый на ионообменную очистку, контактирует с катионитом, который находясь в аммонийной форме, может служить источником аммиака. Радиолит гидразина также не протекает полностью и определяется временем работы реакторной установки на мощности. При этом расчётное значение концентрации азота, находящееся в области верхней границы реально отмечающихся значений, представленных на графиках на рисунке 2, даёт основание принять его как максимально допустимое для условий нормальной эксплуатации и учитывать при проведении расчётного обоснования необходимых теплофизических параметров измерительного канала АХК1.

Следует отметить, что результаты аналогичных расчётов газосодержания, концентрации растворенных водорода и азота по данным, запрошенным у коллег с ЛАЭС-2 и КалАЭС, ниже значений, полученных для Балаковской АЭС. Объём выделяющегося газа на 1 дм^3 теплоносителя (газосодержание) находится в диапазонах – 10–20 мл, 15–30 мл и 25–45 мл, соответственно. При этом объёмная доля водорода во всех случаях находится в диапазоне 50–80 %.

Поскольку степень влияния на растворимость газов макрокомпонентов пробы (эффект «высаливания») является не определенной и может оказывать влияние на минимально необходимое давление пробы в линии АХК1, были проведены экспериментальные исследования с целью количественной оценки такого эффекта.

5.2.1 Методика экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования основывались на определении растворимости газовых компонентов в условиях насыщения водной среды газами при поддержании постоянной температуры $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Поддержание давления осуществлялось в диапазоне от 1 до 5 атм. Выбор такого диапазона связан с ограничениями работы оборудования по давлению (максимальное – до 5 атм). При этом работа в данном диапазоне обеспечивала получение стабильных результатов измерений концентрации газов, а также надёжной количественной оценки эффекта «высаливания», поскольку его проявление связано с изменением растворимости газов независимо от давления и, следовательно, концентрационного диапазона. Поддержание давления и температуры водной среды обеспечивалось с помощью аттестованных средств испытаний и поверенных средств измерений.

Поскольку процесс насыщения газами водных сред является замедленным, для сокращения времени достижения равновесия применялся, разработанный в НИТИ, высокоэффективный способ насыщения водных сред газами с использованием мембранных контакторов (устройство для воспроизведения и передачи единиц массовой концентрации газов в жидких средах) [4]. Использование такого способа позволяло не только насыщать газом водные среды, но и эффективно удалять газы при подготовке водной среды при проведении эксперимента.

Схема установки для экспериментальных исследований представлена на рисунке 3.

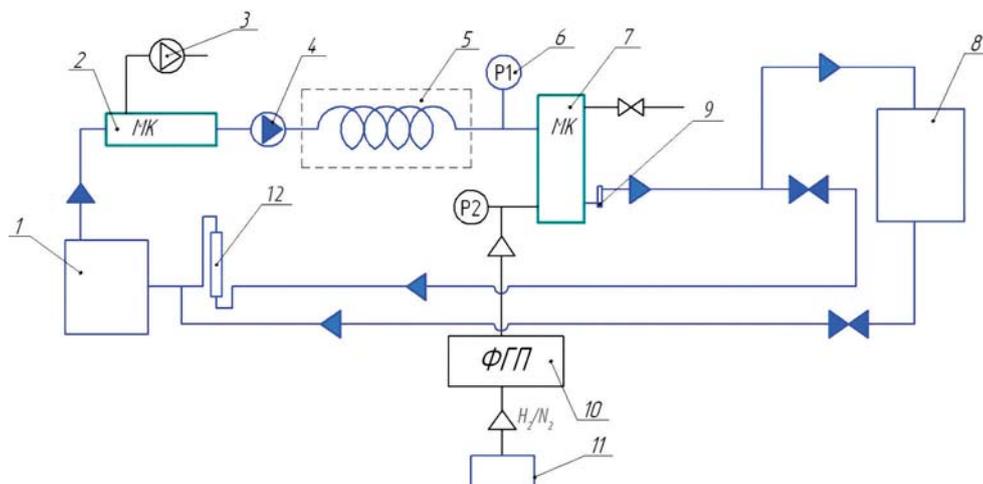


Рисунок 3 – экспериментальная установка для приготовления растворенного водорода и азота в воде и модельных растворах:

1 – ёмкость с деионизованной водой или модельным раствором, 2 – мембранный контактор для предварительного извлечения растворенных газов, 3 – вакуумный насос, 4 – насос для подачи раствора, 5 – термостат для поддержания заданной температуры, 6 – датчик абсолютного давления, 7 – мембранный контактор для приготовления модельного раствора с растворенным газом (водород или азот), 8 – хроматографический комплекс с приставкой для извлечения растворенных газов для измерения растворенного водорода или азота, 9 – датчик температуры, 10 – формирователь газовых потоков с регуляторами давления и расхода газов, 11 – источник чистого водорода или чистого азота, 12 – измеритель расхода.

В соответствии со схемой (рисунок 3), функционирование установки построено следующим образом. Вода или водный раствор из ёмкости (1) с помощью насоса (4) поступает на мембранный контактор (2), где происходит дегазация воды при вакуумировании газовой полости с использованием вакуумного насоса (3). Дегазированная вода проходит через теплообменник термостата (5) и затем поступает в жидкостную полость мембранного контактора (7). По газовой полости мембранного контактора через формирователь газовых потоков ФГП (10) со встроенным регулятором давления РРГ-11 поступает газ заданного состава и насыщает воду, формируя водный раствор газа (водород, азот).

Определение растворенных газов проводилось по методике жидкостно-газохроматографического анализа [5]. Погрешность данной методики по водороду в диапазоне 0,001–10 мг/дм³ и по азоту в диапазоне 0,06–140 мг/дм³ составляет ± 8 %.

Метрологическая надёжность экспериментальных исследований обеспечивалась использованием следующих средств измерений, вспомогательных устройств, реактивов и материалов:

- измеритель влажности и температуры ИВТМ-7М2-01, ТУ 4311-001-70203816-2006;
- барометр-анероид БАММ-1, ТУ 425-11.1513-79;
- датчик давления (преобразователь давления эталонный), ПДЭ-020И;
- датчик температуры (термометр цифровой эталонный), ТЦЭ-005/М2;
- хроматографический комплекс на основе хроматографа Хроматэк-Кристалл 5000

с приставкой для извлечения растворенных газов в соответствии с методикой МУ 08-47/395;

- генератор водорода 10.400 осч (чистота – 99,9995 % об.);
- весы электронные лабораторные DX-1200 WP;
- колбы мерные второго класса точности, вместимостью 2000 см³ по ГОСТ 1770-74;
- азот газообразный особой чистоты 2 сорта с содержанием азота не менее 99,996 % об. по ГОСТ 9292-74;
- кислота борная, квалификации «х.ч.» по ГОСТ 9656-75;
- калия гидроксид квалификации «х.ч.» по ГОСТ 24363-80;
- вода высокой чистоты с удельной электрической проводимостью не более 0,08 мкСм/см (25 °С).

В качестве компонентов для приготовления модельных растворов, имитирующих состав теплоносителя первого контура, были использованы борная кислота и гидроксид калия (реагенты, дозируемые в теплоноситель первого контура АЭС с ВВЭР). Концентрация борной кислоты и ионов калия в модельных растворах приведены в таблице 2.

Таблица 2

Химический состав модельных растворов

№ модельного раствора	Содержание борной кислоты, г/дм ³	Содержание ионов калия, ммоль/дм ³
1	0,5	0,09
2	5	0,32
3	10	0,50
4	20	0,50

Приготовление модельных растворов проводили с использованием высокочистой воды методом точной навески в мерных стеклянных колбах на 2 дм³. В каждой из четырех серий готовилось по 4 дм³ раствора. Для этого в отдельной емкости (стеклянный стакан) растворялись навески борной кислоты (2, 20, 40 и 80 г, соответственно), в предварительно измеренном мерной колбой объеме 2 дм³ и нагретой до 40 °С высокочистой воде. С целью исключения промахов и возможных ошибок в приготовлении указанных модельных растворов, качество подтверждалось методами атомно-абсорбционной спектрометрии (по основным компонентам, таблица 3) и ионной хроматографии ($C(Cl^-) < 0,1$ мг/дм³). Результаты характеризуются соответствием химического состава модельных растворов № 1–3 нормам качества теплоносителя первого контура [1].

Таблица 3

Результаты определения борной кислоты и калия в модельных растворах

№ модельного раствора	Борная кислота, мг/дм ³	Калий, ммоль/дм ³
1	505 ± 35	0,094 ± 0,007
2	4945 ± 346	0,31 ± 0,05
3	10016 ± 700	0,49 ± 0,08
4	20000 ± 1400	0,48 ± 0,08

5.2.2 Результаты экспериментальных исследований

Перед проведением экспериментов проводилась проверка работоспособности экспериментальной установки по результатам определения растворимости водорода и азота в высокочистой воде методом жидкостно-газовой хроматографии с последующим их сравнением с расчётными данными, полученными на основании табличных констант растворимости [9–11]. Экспериментальные данные приведены в диапазоне давлений газа в газовой фазе от 1 до 5 атм. Экспериментальные и расчётные данные приведены в таблицах 4–5 и на рисунках 4–5. Здесь и далее на графиках объём растворенного газа выражен в см^3 , приведённых к нормальным условиям ($P = 1 \text{ атм}$, $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$) – нсм^3 .

Таблица 4

Расчётные и экспериментальные содержания водорода в воде

№	Температура, $^\circ\text{C}$	$P_{\text{абс}}, \text{кПа}$	$P_{\text{абс}}, \text{атм}$	Содержание растворенного водорода $C(\text{H}_2)$, $\text{нсм}^3/\text{дм}^3$	
				Расчётное	Измеренное
1	24,7	103,60	1,02	17,69	$18,6 \pm 1,4$
2	24,7	197,23	1,95	34,18	$34,5 \pm 2,7$
3	24,7	295,40	2,92	51,48	$52,8 \pm 4,2$
4	24,7	393,80	3,89	68,80	$68,4 \pm 5,5$
5	24,7	444,00	4,38	77,70	$77,7 \pm 6,2$
6	24,7	470,50	4,64	82,3	$82,3 \pm 6,6$

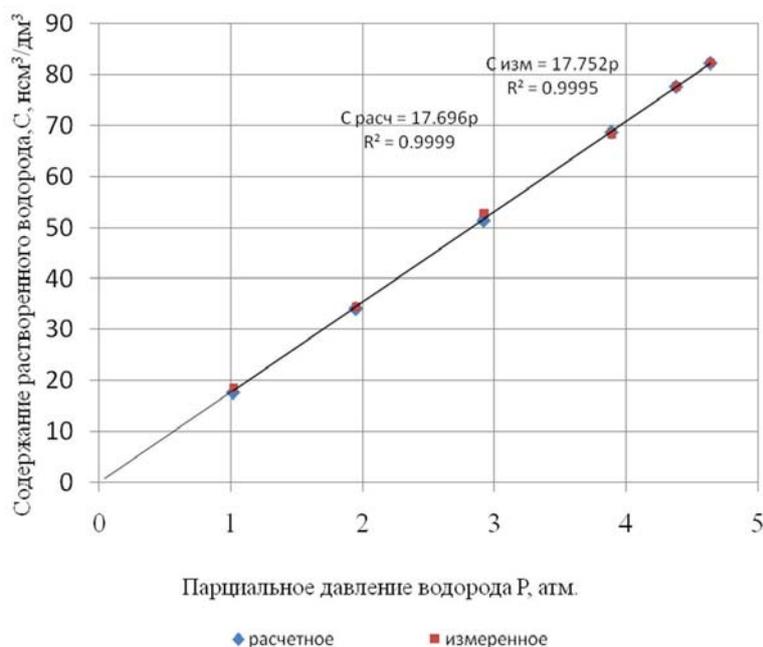


Рисунок 4 – Содержание растворенного водорода в воде в зависимости от его парциального давления

Таблица 5

Расчётные и экспериментальные содержания азота в воде

№	Температура, °С	P _{абс.} , кПа	P _{абс.} , атм	Содержание растворенного азота C(N ₂), нсм ³ /дм ³	
				Расчётное	Измеренное
1	25,0	103,33	1,02	14,01	14,0±1,1
2	25,0	197,02	1,94	27,12	27,5±2,2
3	25,0	295,05	2,91	40,83	41,8±3,3
4	25,0	393,05	3,88	55,42	56,5±4,5
5	25,0	491,5	4,85	69,41	69,6±5,6

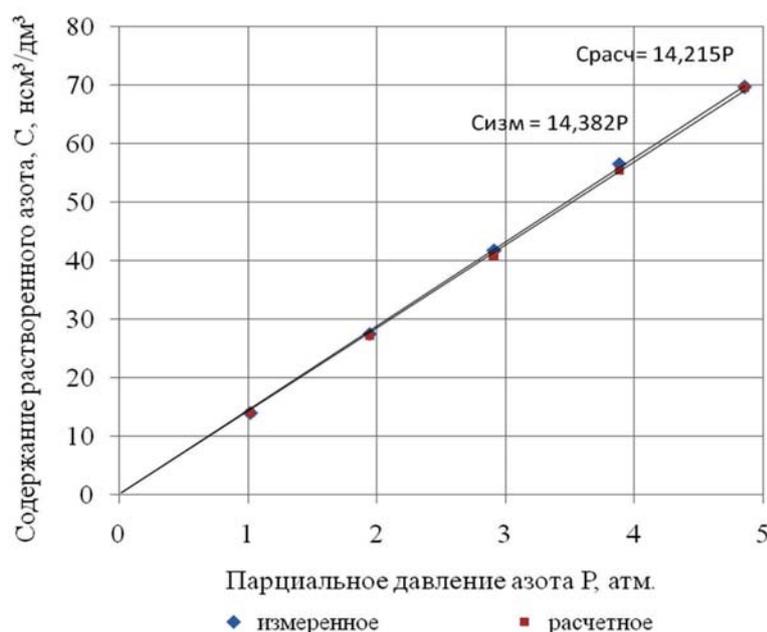


Рисунок 5 – Содержание растворенного азота в воде в зависимости от его парциального давления

Как следует из приведенных данных (таблицы 4–5 и рисунки 4–5), расчётные и измеренные значения содержания растворенных газов в воде в диапазоне давлений от 1 до 5 атм и при температуре 25 ± 2 °С совпадают. Следовательно, полученные данные свидетельствуют о метрологической состоятельности используемой схемы и возможности её использования для проведения количественной оценки растворимости газов в водных растворах.

Далее были проведены аналогичные серии экспериментов по определению содержания растворенного водорода и азота в модельных растворах, имитирующих химический состав теплоносителя первого контура. Экспериментальные и расчётные данные для каждого модельного раствора приведены на рисунке 6 при насыщении растворов водородом.

Из приведенных данных следует, что наличие в теплоносителе борной кислоты до 20 г/дм³ и щелочных металлов до 0,5 ммоль/дм³ (гидроксида калия) не оказывает значимого влияния на растворимость водорода в пределах погрешности методики определения растворенных газов. Следовательно, высаливающий эффект в исследованном концентрационном диапазоне незначителен.

Для установления области отклонения в растворимости газовых компонентов за счёт высаливающего эффекта и связанных с ним значений концентрации ионных компонентов в борнокислотных растворах были проведены эксперименты с использованием концентрированных модельных растворов. В качестве примера на рисунке 6 представлены результаты измерений для раствора, содержащего 40 г/дм³ борной кислоты и 200 ммоль/дм³ ионов калия.

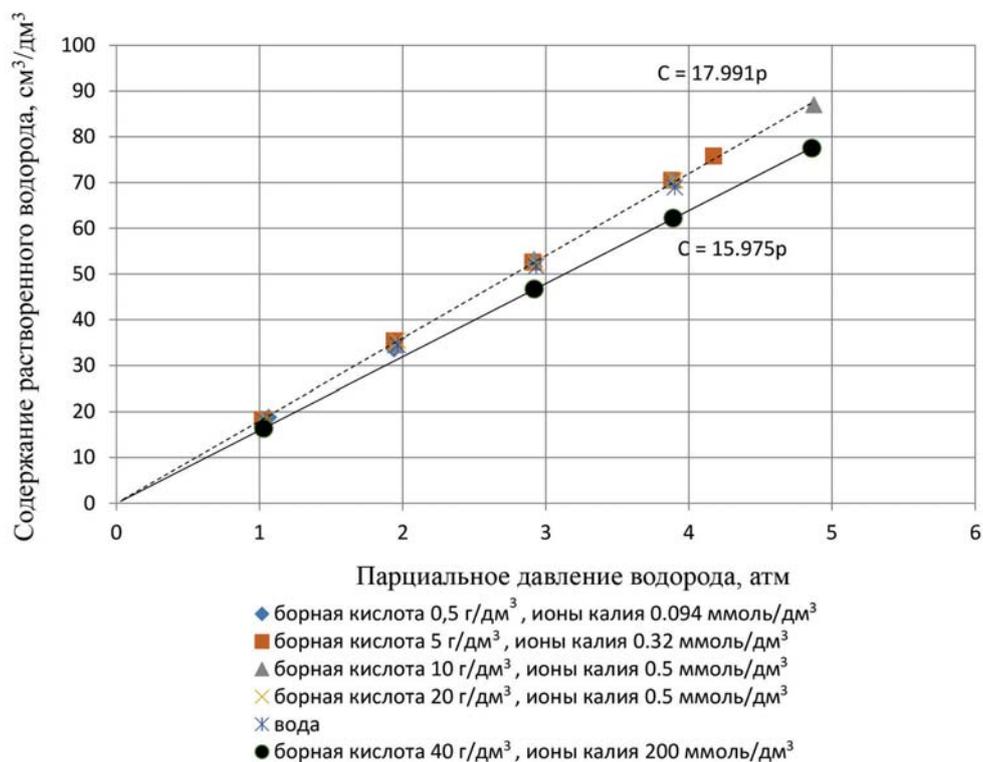


Рисунок 6 – Содержание растворенного водорода в модельных растворах в зависимости от его парциального давления

Из полученных результатов эксперимента следует, что в растворе с содержанием борной кислоты 40 г/дм³ и ионов калия 200 ммоль/дм³ растворимость водорода снижается примерно на 10 %, что уже является значимым и должно учитываться при расчёте растворимости газов в растворах такой концентрации исследуемых компонентов.

Экспериментальные и расчётные данные при насыщении модельных растворов азотом, полученные аналогично экспериментам с водородом, приведены на графике рисунка 7.

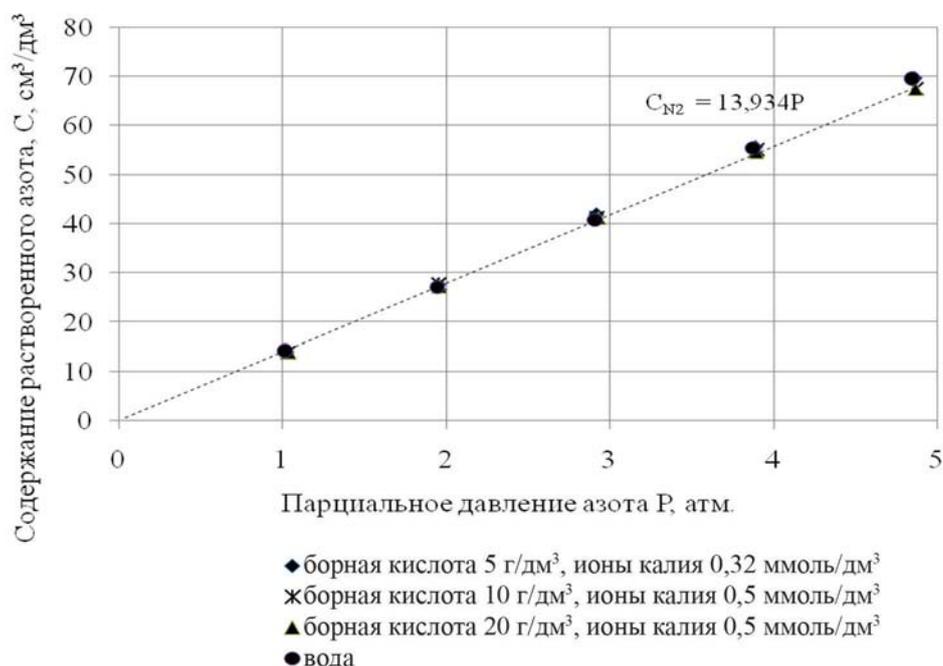


Рисунок 7 – Содержание растворенного азота в модельных растворах в зависимости от его парциального давления

Из приведенных данных следует, что наличие в теплоносителе борной кислоты до 20 г/дм³ и щелочных металлов до 0,5 ммоль/дм³ (гидроксида калия) не оказывает существенного влияния на растворимость азота в пределах погрешности методики определения растворенных газов. Высаливающий эффект в исследованном концентрационном диапазоне незначителен.

Следовательно процессы дегазации теплоносителя могут рассматриваться как дегазация чистой воды при тех же параметрах (температуре, давлении и концентрации растворенных газов). Поэтому для расчёта растворимости газов в растворах близких по составу теплоносителю первого контура АЭС с ВВЭР могут быть использованы значения температурной зависимости растворимости газов в чистой воде на основании справочных данных [6–8].

Следует отметить, что в виду того, что концентрации компонентов в теплоносителе первого контура довольно высоки, на результаты расчётов влияние может оказать изменение плотности растворов. При этом авторами статьи [9] при моделировании развития аварий на АЭС проводилось исследование физико-химических характеристик растворов борной кислоты, результаты которых не показали значимых отклонений значений от плотности высокочистой воды. Следовательно данные, представляемые в единицах объёмной и массовой концентраций, являются равнозначными.

Расчётное обоснование параметров системы АХК первого контура

Поскольку результаты экспериментальных исследований растворимости газов в растворах имитирующих теплоноситель первого контура не установили существенных отклонений в свойствах растворов борной кислоты по сравнению с чистой водой, это позволило провести расчёты параметров системы АХК с использованием верифицированного расчётного кода (ПК) «КОРСАР».

Согласно описанию ПК «КОРСАР/BR» [10, 11] предназначен для численного моделирования стационарных состояний, переходных и аварийных режимов реакторных установок (РУ) с водо-водяными энергетическими реакторами (ВВЭР) и обеспечивает численное моделирование нестационарных теплогидравлических процессов, протекающих в водо-водяных реакторах в эксплуатационных и аварийных режимах, с учётом поведения неконденсирующихся газов в теплоносителе. В ПК «КОРСАР/BR» имеется встроенная функция расчёта концентрации насыщения одного из возможных неконденсирующихся газов в теплоносителе в указанном выше диапазоне давлений и температур (с учётом наличия в воде других растворенных газов). Поэтому в расчётной модели, представляющей собой систему эквивалентных каналов, имитирующих тракт движения теплоносителя, имеется возможность рассчитывать как текущие значения концентраций растворенных газов, так и концентрации насыщения водорода или любого другого из возможных неконденсирующихся газов при текущих значениях давления, температуры и концентраций растворенных газов.

Согласно поставленной задаче исследований, исходными данными для расчётов являлись показатели качества теплоносителя первого контура, представленные в таблице 1, из которых следует, что диапазон допустимых значений концентрации растворенного водорода составит от 2,2 до 4,5 мг/дм³, а при отклонениях от допустимых значений максимальная концентрация растворенного водорода может достигать следующих уровней: первый уровень отклонений – 7,2 мг/дм³; второй уровень отклонений – 9 мг/дм³; третий уровень отклонений – свыше 9 мг/дм³.

С учётом указанных выше консервативной оценки содержания растворенного азота, а также диапазонов уровней отклонений были проведены расчёты предельной концентрации растворенного водорода в зависимости от температуры при фиксированном давлении в измерительном канале АХК 0,65; 0,70; 0,75 и 0,80 МПа (рисунки 8–11).

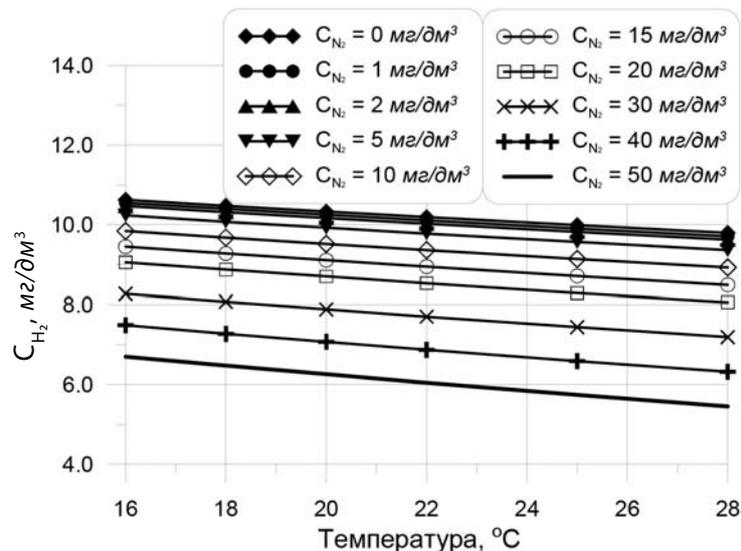


Рисунок 8 – Зависимость предельной концентрации растворенного водорода C_{H_2} , мг/дм³ от входных параметров при давлении 0,65 МПа

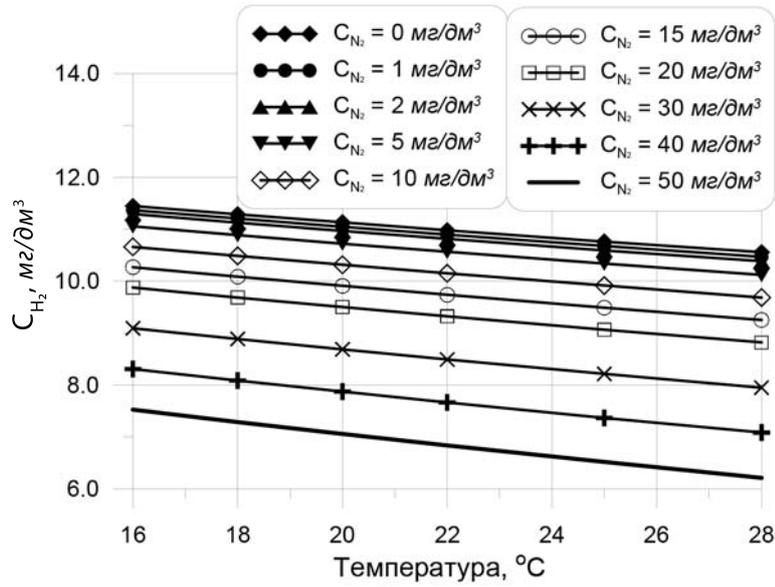


Рисунок 9 – Зависимость предельной концентрации растворенного водорода C_{H_2} , мг/дм³ от входных параметров при давлении 0,70 МПа

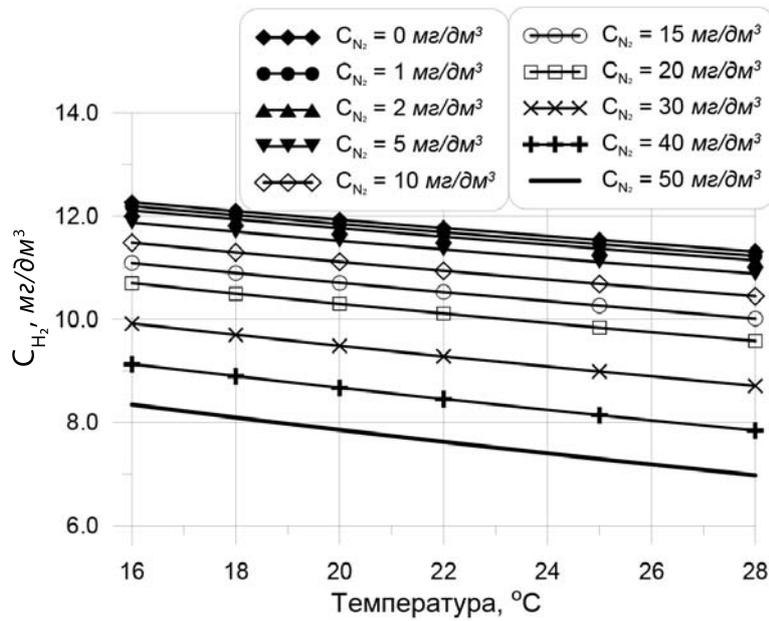


Рисунок 10 – Зависимость предельной концентрации растворенного водорода C_{H_2} , мг/дм³ от входных параметров при давлении 0,75 МПа

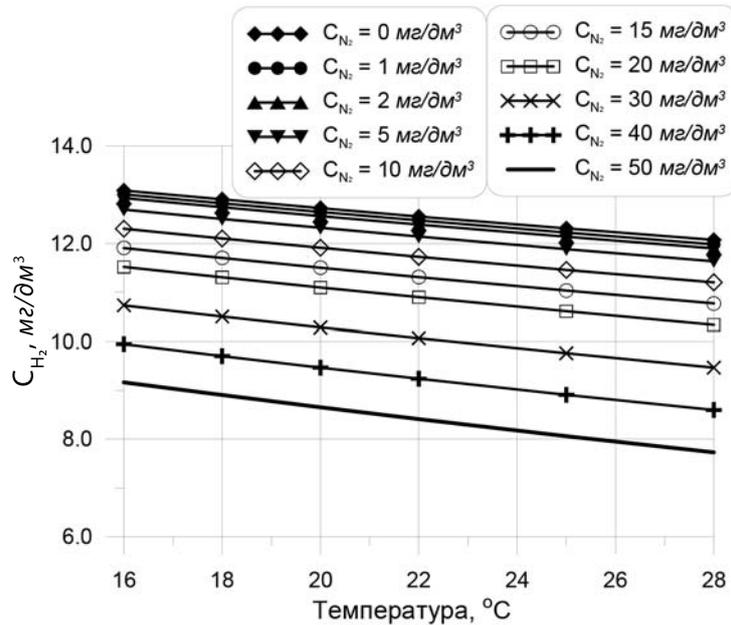


Рисунок 11 – Зависимость предельной концентрации растворенного водорода C_{H_2} , мг/дм³ от входных параметров при давлении 0,80 МПа

Из полученных результатов следует что, чем меньше температура теплоносителя, меньше концентрация растворенного азота и больше давление, тем выше предельная концентрация растворенного водорода.

Заключение

Проведены экспериментальные и расчётные исследования растворимости газов в водных средах, применительно к задаче контроля растворенного водорода в условиях системы АХК первого контура АЭС с ВВЭР. Обоснование выбора минимальных значений давления пробы системы АХК1 выполнено с использованием апробированных методов и средств измерений, аттестованного и верифицированного расчётного кода КОРСАР/BR с использованием массива данных о параметрах водно-химического режима первого контура на примере блоков 1, 2, 3, 4 Балаковской АЭС.

Экспериментальные исследования влияния состава теплоносителя на растворимость основных газовых компонентов (эффект высаливания), содержащихся в теплоносителе первого контура ВВЭР, в том числе и водорода, проведены в условиях имитирующих линию АХК1 с варьированием состава водной среды по концентрации калия и борной кислоты. Результаты экспериментальных исследований показали отсутствие значимого влияния на растворимость газов в растворах борной кислоты (вплоть до 40 г/дм³), содержащей ионы щелочных металлов до 200 ммоль/дм³. Следовательно, в виду отсутствия влияния высаливающего эффекта на растворимость газов, расчётные исследования растворимости водорода в теплоносителе проводились по константам, соответствующим растворимости в чистой воде.

Разработана расчётная модель участка контроля концентрации водорода в модуле КПП системы АХК для РК КОРСАР/BR и методика расчёта текущей концентрации растворенного водорода с возможностью одновременного определения концентрации насыщения водорода в пробе теплоносителя первого контура.

Результаты расчётных исследований показали, что выделения водорода из пробы теплоносителя в КПП не происходит, если параметры теплоносителя находятся в пределах допустимых значений в соответствии с табл. 5.1. СТО 1.1.1.02.005.0004-2012 (с изм. 1–5), то есть при концентрациях растворенного водорода до 4,5 мг/дм³. В данном диапазоне выделение водорода, даже при отмечающемся уровне содержания растворенного азота, исключено. С учётом проведённой оценки верхнего уровня значений концентрации растворенного азота (30 мг/дм³) по данным газосодержания пробы теплоносителя в соответствии с методикой газохроматографического анализа, полученных в период 2017–2019 гг., выделения водорода из пробы теплоносителя в КПП не происходит, если параметры теплоносителя находятся в пределах второго и третьего уровня отклонений допустимых значений по концентрации водорода, если давление перед датчиком превышает 0,8 МПа.

Литература

1. Водно-химический режим первого контура энергоблоков атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1000. Нормы качества теплоносителя и средства их обеспечения. Стандарт организации СТО 1.1.1.02.005.0004-2012 (с изм. 1, 2, 3, 4, 5).
2. *Намиот А.Ю.* Растворимость газов в воде: справочное пособие. – М., «Недра», 1991.
3. Лабораторный анализ газовых сред атомных электростанций с водо-водяным энергетическим реактором. Методики выполнения измерений. Стандарт предприятия. СТО1.1.1. 07. 003. 0801-2009.
4. Горшков А.И. Устройство для воспроизведения и передачи единиц массовой концентрации газов в жидких средах: Патент 2722967 С1, 05.06.2020 / А.И. Горшков, А.Н. Мельниченко, О.В. Прохоркина // Бюллетень «Изобретения. Полезные модели». – № 16 от 05.06.2020.
5. Методика (метод) измерения объёмной концентрации растворенного водорода, кислорода и азота методом жидкостной распределительной хроматографии, свидетельство об аттестации Т08-47/395.01.00143-2013-2017 от 02.05.2017.
6. *Перельман В.И.* Краткий справочник химика. – Москва: ГХИ, 1954. – С. 308–309.
7. Справочник химика: Т. 1. Общие сведения. Строение вещества. Свойства важнейших веществ. Лабораторная техника. – М.; Л., 1962. – 1063 с.
8. *Перельман В.И.* Краткий справочник химика. – Москва: Химия. – 1964. – С. 313
9. Теплофизические свойства водных растворов борной кислоты в широком диапазоне концентраций / А.В. Питык, А.Р. Сахипгареев, А.С. Шлепкин, А.В. Морозов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2018. – Вып. 3. – С. 102–114.
10. Расчётный код КОРСАР/BR: описание программы; ЛКВШ 96.850.10.000-01 13 01; инв. № Т-2440 /ФГУП НИТИ. – 2013.
11. Расчётный код КОРСАР/BR для расчётов в обоснование безопасности реакторов блочной и интегральной компоновки и реакторов типа ВВЭР: отчёт о верификации. Части 1...5; инв. №№ 1149/о...1153/о / /ФГУП НИТИ. – 2013.

5.3 Разработка технологии пассивации парогенераторов ПГ Н-272 РУ БН-800

Б.А. Гусев, А.А. Ефимов, А.М. Алешин, В.В. Мартынов,
А.Н. Максимова

Объектом исследований являются конструкционные материалы третьего контура реакторной установки БН-800. Задача исследований – разработка рецептуры растворов и технологии пассивации теплообменных трубок парогенератора (ПГ) Н-272 РУ БН-800. Определены структура, фазовый состав защитных пленок и отложений продуктов коррозии, а также удельная загрязненность рабочих поверхностей теплообменных трубок парогенератора продуктами коррозии. Приведены рецептуры растворов и химико-технологические параметры процесса пассивации конструкционных материалов парогенератора. Представлены результаты коррозионных испытаний полученных защитных оксидных пленок. Получено экспериментальное обоснование эффективности рецептуры (рецептур) растворов и технологии (технологий) пассивации, включающие соотношение объема растворов и площади поверхности образцов, температуру и скорость циркуляции растворов, допустимые коррозионные потери при обработке, представлены данные коррозионных испытаний образцов конструкционных материалов после проведения пассивации по разработанным технологиям.

Задача исследований – разработка рецептуры растворов и технологии пассивации, выполненных из перлитной стали, теплообменных трубок парогенератора ПГ Н-272 РУ БН-800, которые эксплуатируются в условиях слабощелочного окислительного водно-химического режима (ВХР). Вопрос соответствия фазового состава защитных оксидных пленок на оборудовании, выполненном из перлитных сталей, до сих пор не имеет однозначного толкования. В условиях восстановительного ВХР это шпинели магнетита, содержащие примеси легирующих элементов. Для окислительных ВХР данные по фазовому составу защитных пленок в литературе не представлены. Предполагается, что после окончания химической промывки значительная часть поверхности трубного пучка будет находиться в коррозионно-активном состоянии. В настоящее время накоплен большой опыт проведения химических промывок и пассивации оборудования основного и вспомогательных контуров ядерных энергетических установок (ЯЭУ), эксплуатируемых при различных ВХР [1–5], но до настоящего времени отсутствует практика применения в условиях окислительного ВХР технологий пассивации, разработанных для оборудования, эксплуатируемого при восстановительном ВХР.

Цель работы – выбор рецептур и определение химико-технологических параметров процесса направленного формирования защитных оксидных пленок, определение скорости коррозии запассивированных конструкционных материалов парогенераторов ПГ Н-272 реакторной установки (РУ) БН-800 – низколегированных перлитных сталей 10Х2МВ-ВД, 12Х1МФ.

Технические требования к выбору технологии пассивации:

- защитная пленка, сформированная по разработанной технологии, должна соответствовать проектному ВХР;
- защитные свойства оксидных пленок по разработанным рецептуре и технологии должны быть не хуже известных и применяющихся в настоящее время, проектная скорость коррозии сталей 10Х2М-ВД, 12Х1МФ и 15ГС составляет 1 мм за 30 лет (0,03 г/м²·ч);

5. Химико-технологические и радиохимические исследования

- предлагаемые к использованию в рецептурах химические вещества должны быть легкодоступны;
- разрабатываемые рецептуры не должны оказывать коррозионного воздействия на конструкционные материалы третьего контура РУ БН-800 выше проектных норм и не провоцировать специфических видов коррозии;
- технологические параметры процесса пассивации оборудования: температура обработки – 180...200 °С, требований к временным параметрам процесса не предъявляется;
- разработанная технология должна обеспечивать минимальный объём и возможность переработки образующихся жидких отходов;
- качество сформированных защитных пленок оценивается сравнением проектной скорости коррозии конструкционных материалов ПГ Н-272 и скорости коррозии образцов, обработанных по предлагаемым технологиям;
- прибавки на коррозию со стороны воды/пара для сталей 10Х2М, 12Х1МФ и 15ГС приняты по нормам расчёта на прочность и составляют 1 мм/30 лет, что в пересчете на убыль массы составляет 0,030 г/м²ч.

Основные требования к оптимальным условиям образования на поверхности перлитной стали защитных оксидных пленок можно сформулировать следующим образом:

1. Организация «умеренного» растворения сталей, в результате которого на поверхности образуются «активные» центры растворения, а в контактирующих со сталью растворах появляются ионы металла.
2. Создание условий для формирования оптимального химического состава форм существования продуктов коррозии в диффузионной области теплоносителя. Оптимальными химическими формами Fe(III) для образования защитных оксидных пленок на поверхности сталей являются его наноразмерные комплексы с оксигигандами.
3. Блокирование центров растворения металла с формированием на поверхности сталей зародышей магнетитной оксидной пленки. Данный процесс является двухстадийным. На первой стадии образуются ассоциаты «оксидирующих» комплексов железа (III) с атомами элементарного железа в активных центрах растворения. На второй – происходит термическое разложение ассоциатов с образованием зародышей кристаллов магнетита, сохраняющих возникшие в ассоциатах химические связи с атомами металла. Для направленного блокирования центров растворения сталей в процессе образования оксидных плёнок и превращения их в центры (зародыши) роста оксидной пленки необходимо создать соответствующие условия для термического разложения первичных прочных комплексов железа III с различными оксидирующими агентами. Во всех случаях физический смысл «блокирования» сводится к процессам «адсорбции» цепочек наноразмерных полимерных продуктов гидролиза (ППГ) Fe(III) на поверхности сталей с последующим формированием зародышей будущей оксидной пленки.
4. После формирования зародышей магнетита необходимо создать оптимальные условия для роста фазы оксидных пленок. Следствием оксидирования сталей является визуально наблюдаемое изменение как внешнего вида металлической поверхности, так и морфологии образующихся защитных коррозионных пленок. При обработке растворами Трилона Б формируются пленки с наиболее высокими защитными свойствам, поскольку создаются практически идеальные условия для формирования прочно сцепленных с металлом оксидных пленок с почти

100 %-ной сплошностью. Однако для такого оксидирования требуются относительно высокие температуры (примерно 300 °С). Исходя из вышеизложенных соображений для пассивации теплообменных трубок (ТОТ) ПГ Н-272 подходят только две технологии оксидирования: ацетатная и комплексонная. Исходные предпосылки для разработки технологий приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Оптимальные условия образования оксидных пленок
на поверхности углеродистой стали в зависимости от химического состава
оксидирующих растворов**

Реагент	Концентрация реагента, мг/л	Температура оксидирования, °С	Время оксидирования, ч
Ацетат аммония NH ₄ Ac	7000	180–220	2,5–5
Комплексон Na ₂ H ₂ Y	300	275–295	3,0

Поддержание температуры в пределах (270-290) °С в течение 3–5 часов невыполнимо в условиях третьего контура РУ БН-800. Однако, представляется целесообразным исследование свойств защитных оксидных пленок, образующихся при пассивации растворами на основе Трилона Б при температуре 250 °С, что кратковременно допустимо в третьем контуре БН-800. Тогда, при получении соответствующих требованиям ТЗ результатов по коррозионной стойкости образующихся защитных пленок, появляется возможность реализовать одноэтапную технологию химической промывки и пассивации, что позволит избежать дополнительных операций по водной промывке контура и существенно снизить количество образующихся отходов.

Для разработки технологии пассивации конструкционных материалов ПГ Н-272 и определения её оптимальных химико-технологических параметров использованы образцы сталей 10Х2М-ВД и 12Х1МФ в виде дисков: D=20 мм, δ=2 мм, S=0,00075 м² и стали 15ГС в виде фрагмента трубы размером 50x20x3 мм, S=0,0024 м² в состоянии поставки, а также вырезанные из испарительного (ИТ, D=15,5x2,5 мм, h=10 мм, S=0,00092 м²) и пароперегревательного (ППТ, D=16x3 мм, h=10 мм, S=0,00092 м²) модулей образцы ТОТ. Из всех образцов трубок удалены рыхлые отложения продуктов коррозии (ПК).

Для определения фазового состава защитных оксидных пленок на рабочей поверхности ТОТ испарительных и пароперегревательных каналов они были отделены от рабочей поверхности образцов путем создания пластической деформации. Мессбауэровские спектры оксидных слоев испарительного и пароперегревательного каналов ПГ Н-272 показали, что фазовый состав оксидной защитной пленки испарительного канала представляет собой магнетит (Fe₃O₄ – 88,8 %), на поверхности которого расположен плотный слой продуктов коррозии гематита (α-Fe₂O₃ – 11,1 %). Для пароперегревательного канала несколько меняется процентное соотношение фаз: Fe₃O₄ – 77,3 %, α-Fe₂O₃ – 22,7 %.

Определение качества защитных пленок, сформированных после обработки пассивационными рецептурами, проводилось на двух типах образцов конструкционных материалов парогенератора ПГ Н-272:

- в состоянии поставки;
- вырезанных из оборудования третьего контура образцов ТОТ испарительного и пароперегревательного модулей.

Образцы в состоянии поставки использовались для обоснования возможности получения пассивных пленок на конкретных марках перлитных сталей и определения качества пленок, сформированных по различным технологиям. Для стандартизации исходных условий отработки технологии пассивации образцы предварительно подвергали химической промывке по технологии, разработанной ВТИ. Состав раствора химической отмычки: 5 г/л ТрБ, 2 г/л N_2H_4 , pH ~ 10,2, температура – 150 °С, время обработки 3–5 ч.

Типичный вид поверхности образцов после химической промывки: на поверхности образуется тонкая пленка темно-серого цвета и легко удаляемый налет тонкодисперсных соединений железа черного цвета, однако по результатам визуального осмотра установлено, что сплошной слой пленки на поверхности образцов отсутствует. Рабочие поверхности образцов ТОТ испарительного и пароперегревательного модулей после химической промывки внешне значительных изменений не претерпели, на них сохранилась самопроизвольно сформировавшаяся в эксплуатационных условиях оксидная пленка магнетита с отложениями продуктов коррозии в виде гематита.

Для определения оптимальных химико-технологических параметров «ацетатной» технологии пассивации были проведены автоклавные эксперименты. Обоснование возможности получения пассивных пленок на перлитных сталях по «ацетатной» технологии и определение оптимальных параметров формирования защитных пленок проводили на образцах в состоянии поставки. Диапазон оптимальных температур «ацетатной» технологии обработки был определен ранее и составил 180–200 °С. Оптимальное время обработки поверхности составляет 3–5 часов. С целью выбора оптимальной рецептуры и химико-технологических параметров испытания «ацетатной» технологии, пассивации проводились в растворах следующего состава:

- 5г/л NH_4Ac в 10^{-3} М HNO_3 , pH~6,0;
- 5г/л NH_4Ac в $5 \cdot 10^{-3}$ М HNO_3 , pH~6,6;
- 5г/л NH_4Ac в $5 \cdot 10^{-3}$ М $HNO_3 + Fe^{+3}$, pH~6,6;
- 5г/л NH_4Ac в $5 \cdot 10^{-3}$ М $HNO_3 + Cr^{+3}$, pH~6,6;
- 5г/л NH_4Ac в $5 \cdot 10^{-3}$ М $HNO_3 + Al^{+3}$, pH~6,6.

Коррозионные испытания запассивированных образцов проводили в растворах, имитирующих технологическую среду третьего контура в ПГ Н-272.

В таблице 2 приведены исходные данные для выбора оптимальных химико-технологических параметров по отработке «ацетатной» технологии пассивации. В экспериментах варьировались составы растворов, время и температура обработки. Для определения оптимальных параметров реализации технологии в качестве критериев использовались данные металлографического анализа и результаты коррозионных испытаний.

Таблица 2

Исходные данные для выбора оптимальных химико-технологических параметров по отработке «ацетатной» технологии пассивации

Эксперимент	Объём раствора, мл	Температура, °С	Время режима, ч	Внешний вид образцов
1, 2	50	180	3–5	Образцы 12Х1МФ, 10Х2М-А и 15ГС покрыты полупрозрачной оксидной пленкой чёрного цвета (хорошего качества)
3, 4	50	200	3–4	Образцы 12Х1МФ, 10Х2М-А и 15ГС покрыты полупрозрачной оксидной пленкой черного цвета (хорошего качества)
5	50	220	5	Образцы 12Х1МФ, 10Х2М-А и 15ГС покрыты полупрозрачной оксидной пленкой черного цвета (хорошего качества)
6	50	180	3–4 Автоклавы вскрыты через 24 часа	Растворы в автоклавах (12Х1МФ, 10Х2М-А) прозрачные, бесцветные, образцы покрыты плотной оксидной пленкой черного цвета (хорошего качества). В растворе автоклава с образцом 15ГС есть мелкодисперсная взвесь. Пленка на поверхности не такая плотная (более прозрачная)

На рисунках 1–3 приведены изображения оксидной пленки сталей 10Х2М-А, 12Х1МФ и 15ГС после ацетатной обработки.



Рисунок 1 – Оксидная пленка на поверхности образца стали 10Х после ацетатной пассивации при увеличении 2000 крат



Рисунок 2 – Оксидная пленка на поверхности образца стали 12Х после ацетатной пассивации при увеличении 2000 крат

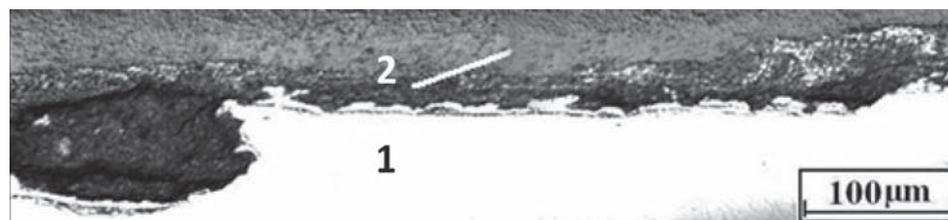


Рисунок 3 – Оксидная плёнка на поверхности образца стали 15ГС после ацетатной пассивации при увеличении 500 крат (1 – сталь, 2 – оксидная пленка)

В таблице 3 приведены результаты коррозионных испытаний образцов конструкционных материалов в состоянии поставки после пассивации ($T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$, раствор $5\text{ г/л NH}_4\text{Ac}$ в 10^{-3} M HNO_3) в течение 150 ч, среда ВВЧ + $5\text{ мг/л NH}_4\text{OH}$, концентрация $\text{O}_2 \cong 8\text{ мг/л}$.

Таблица 3

**Результаты коррозионных испытаний образцов конструкционных материалов.
Изменения массы m образцов конструкционных материалов
в процессе коррозионных испытаний ***

Образец	$m_{\text{до}}, \text{г}$	$m_{\text{после}}, \text{г}$	Скорость коррозии, $\text{г/м}^2\text{ч}$
Температура $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, среда ВВЧ + $5\text{ мг/л NH}_4\text{OH}$, $\text{O}_2 \cong 8\text{ мг/л}$			
10X_{Cr}	4,2219	4,2216	0,0026
$10\text{X}_{\text{п}}$	4,7756	4,7758	0,0019
10X исх. сост.	4,8497	4,8449	0,0424
12X_{Cr}	4,7435	4,7419	0,0141
$12\text{X}_{\text{п}}$	4,0395	4,0354	0,0363
12X исх. сост.	4,1456	4,1421	0,0309
15ГC_{Cr}	23,3923	23,3840	0,0235
$15\text{ГC}_{\text{п}}$	24,2573	24,2565	0,0023
15ГC исх. сост.	24,6978	24,6444	0,1515
Температура $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, среда ВВЧ + $5\text{ мг/л NH}_4\text{OH}$, $\text{O}_2 \cong 8\text{ мг/л}$			
10X_{Cr}	3,9582	3,9568	0.012
$10\text{X}_{\text{п}}$	4,6652	4,6646	0,005
10X исх. сост.	4,7757	4,7723	0,0295
12X_{Cr}	4,5932	4,5923	0,0078
$12\text{X}_{\text{п}}$	4,0460	4,0451	0,0078
12X исх. сост.	4,0639	4,0600	0,0339
15ГC_{Cr}	23,6363	23,6206	0,0445
$15\text{ГC}_{\text{п}}$	23,8730	23,8655	0,0213
15ГC исх. сост.	23,7546	23,6507	0,2956

*В таблице 3: образцы 10X_{Cr} , $10\text{X}_{\text{п}}$, 12X_{Cr} , $12\text{X}_{\text{п}}$ – диски после пассивации с добавкой Cr^{+3} и без добавок; 15ГC_{Cr} , $15\text{ГC}_{\text{п}}$ – вырезки из трубы после пассивации с добавкой Cr^{+3} и без добавок.

Результаты коррозионных испытаний при $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, приведенные в таблице 3, показывают, что после пассивации растворами ацетата аммония скорость коррозии всех конструкционных материалов находится на уровне ниже значений, заложенных в проект. Скорость коррозии образцов в исходном состоянии находится на уровне и выше (15ГC) проектной.

Для подтверждения представительности результатов коррозионных испытаний, проведенных при выдержке 150 ч были проведены высокотемпературные испытания выдержкой образцов 500 часов (таблица 4).

Данные таблицы 4 подтверждают представительность результатов коррозионных испытаний во временном интервале 150–500 ч.

Таблица 4

**Результаты коррозионных испытаний образцов конструкционных материалов
после пассивации, время – 500 ч**

Образец	$m_{до}$, г	$m_{после}$, г	Скорость коррозии, г/м ² ч
Температура 200 °С, среда ВВЧ + 5 мг/л NH ₄ OH, O ₂ < 0,5мг/л			
15ГС	24,5752	24,5680	0,0061
	23,9527	23,9494	0,0026
10Х	4,8013	4,7959	0,015
	4,7995	4,7985	0,0028
12Х	4,0243	4,0207	0,010
	4,1167	4,1212	0,013

По результатам экспериментов определены оптимальные химико-технологические параметры «ацетатной» технологии пассивации: T = 200 °С, 4–5 ч. Эти параметры использовались в дальнейших экспериментах по отработке «ацетатной» технологии пассивации на образцах ТОТ ПГ Н-272. Результаты приведены в таблицах 5–6.

Таблица 5

**Рецептура и параметры технологии пассивации образцов ТОТ
растворами ацетата аммония**

Образец	Операция	T, °С	τ, ч	Примечание
5 г/л NH ₄ Ac в 10 ⁻³ М HNO ₃ + Fe ⁺³ ~50мг/л, T = 200 °С				
2ИТ		200	5	
17ППТ		200	5	
5 г/л NH ₄ Ac в 10 ⁻³ М HNO ₃ + Cr ⁺³ 40мг/л, T = 200 °С				
2ИТ		200	5	
17ППТ		200	5	
5 г/л NH ₄ Ac в 10 ⁻³ М HNO ₃ + Al ⁺³ 30мг/л, T = 200 °С				
2ИТ		200	5	
17ППТ		200	5	
5 г/л NH ₄ Ac в 10 ⁻³ М HNO ₃ , T = 200 °С				
2ИТ		200	5	
17ППТ		200	5	

Внешний вид поверхности образцов ТОТ после «ацетатной» пассивации приведен на рисунках 4–5.

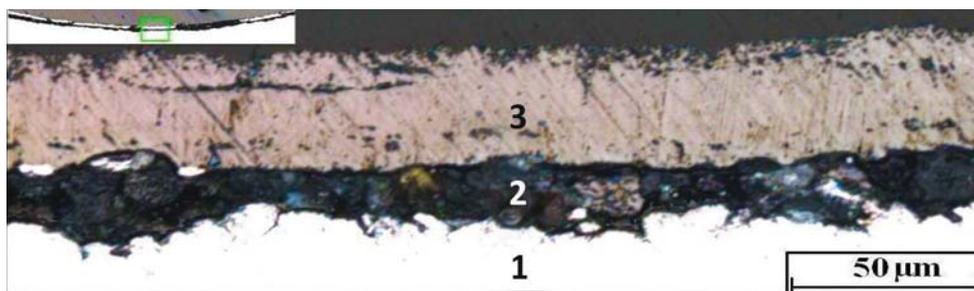


Рисунок 4 – Оксидная плёнка на поверхности образца ТОТ испарительного модуля после ацетатной пассивации, увеличение 1000 крат: 1 – сталь, 2 – эксплуатационная защитная пленка, 3 – отложения продуктов коррозии

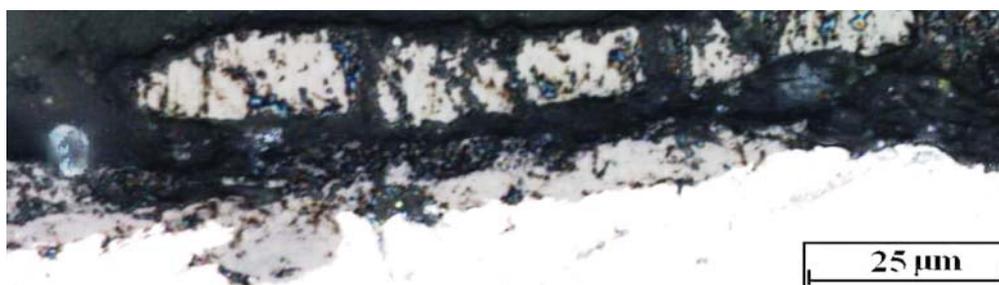


Рисунок 5 – Оксидная плёнка на поверхности образца ППТ после ацетатной пассивации при увеличении 2000 крат

Таблица 6

Результаты коррозионных испытаний образцов ТОТ испарительного и пароперегревательного модулей после пассивации, 150 ч.
Изменения массы m образцов конструкционных материалов в процессе коррозионных испытаний

Образец	$m_{до}$, г	$m_{после}$, г	Скорость коррозии, г/м ² ч
Температура 200 °С, среда ВВЧ + 5 мг/л NH ₄ OH, O ₂ ≅ 8 мг/л			
2ИТ _{Fe}	9,0606	9,0606	0,0000
2ИТ _{Cr}	10,0684	10,0681	0,0022
2ИТ _{Al}	8,9205	8,9147	0,0420
2ИТ _n	9,0664	9,0658	0,0043
2ИТ _{хп}	8,9733	8,9733	0,0000
	9,0497	9,0457	0,0290
17ППТ _{Fe}	10,1310	10,1306	0,0029
17ППТ _{Cr}	8,8680	8,8678	0,0014
17ППТ _{Al}	10,1396	10,1369	0,0196
17ППТ _n	10,1533	10,1527	0,0043
17ППТ _{хп}	10,1344	10,1339	0,0036
	10,1770	10,1762	0,0058

Результаты коррозионных испытаний при 200 °С, приведенные в таблице 6, показывают, что образцы ТОТ, вырезанные из испарительного модуля, после химической промывки и обработки раствором ацетата аммония с добавкой азотнокислого алюминия показали скорость коррозии на уровне и выше проектной.

Для подтверждения представительности результатов коррозионных испытаний, проведенных при 150-часовой выдержке, были проведены высокотемпературные испытания с длительностью выдержки образцов 500 часов, см. таблицу 7.

Таблица 7

Результаты коррозионных испытаний образцов ТОТ после пассивации, время – 500 ч

Образец	$m_{до}$, г	$m_{после}$, г	Скорость коррозии, г/м ² ч
Температура 200 °С, среда ВВЧ + 5 мг/л NH ₄ OH, O ₂ < 0,5мг/л			
ИТ	10,1489	10,1442	0,010
	10,1769	10,1725	0,010
ППТ	9,0498	9,0443	0,012
	8,9516	8,9454	0,013

Данные, приведенные в таблице 7, свидетельствуют о представительности результатов коррозионных испытаний в выбранном временном интервале.

Разработка технологии пассивации растворами на основе Трилона Б

Для определения оптимальной рецептуры и химико-технологических параметров «комплексонной» технологии пассивации были исследованы рецептуры следующего состава:

5 г/л ТрБ, 2 г/л N₂H₄, pH ~ 10,2; T = 250 °С;

10 г/л ТрБ, 2 г/л N₂H₄, pH ~ 10,2; T = 250 °С;

5 г/л ТрБ, pH ~ 9,8 (NH₄OH); T = 250 °С.

В таблицах 8–9 приведены химико-технологические параметры пассивации растворами Трилона Б и последующих коррозионных испытаний образцов конструкционных материалов в состоянии поставки.

Таблица 8

Рецептура и параметры технологии пассивации растворами Трилона Б

Образец	Операция	T, °С	τ, ч	Примечание
5 г/л ТрБ, pH ~ 9,8 (NH ₄ OH), T = 250 °С				
15ГС – 2 шт.		250	5	
10Х – 2 шт.		250	5	
12Х – 2 шт.		250	5	

На рисунках 6–7 приведены изображения характерного внешнего вида поверхности оксидной пленки на поверхности перлитной стали в состоянии поставки после «трилонной» пассивации.



Рисунок 6 – Состояние поверхности образца стали 12Х после «трилонной» пассивации при увеличении 2000 крат

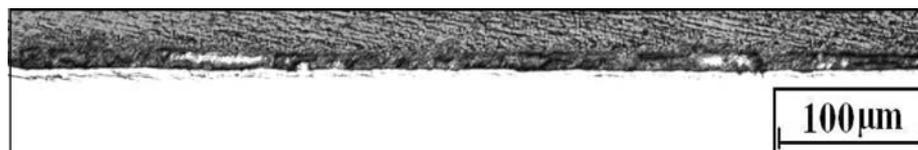


Рисунок 7 – Оксидная пленка на поверхности образца стали 12X после «трилонной» пассивации при увеличении 500 крат

Таблица 9

Результаты коррозионных испытаний образцов конструкционных материалов после пассивации, 150 ч. Изменения массы m образцов конструкционных материалов в процессе коррозионных испытаний

Образец	$m_{\text{до}}, \text{г}$	$m_{\text{после}}, \text{г}$	Скорость коррозии, $\text{г}/\text{м}^2\text{ч}$
Температура 200 °С, среда ВВЧ + 5мг/л NH_4OH , $\text{O}_2 < 0,5 \text{ мг/л}$			
15ГС	24,0407	24,0306	<0,002
12X	4,0290	4,0266	0,0241

Результаты коррозионных испытаний при 200 °С, приведенные в таблице 9, показывают, что после «комплексной» пассивации скорость коррозии конструкционных материалов в состоянии поставки ниже проектных величин.

Для подтверждения представительности результатов коррозионных испытаний, проведенных при 150-часовой выдержке, были проведены высокотемпературные испытания с выдержкой образцов 500 часов (таблица 10).

Данные, приведенные в таблице 10, свидетельствуют о представительности результатов коррозионных испытаний в выбранном временном интервале.

В таблице 11 приведены рецептура и параметры технологии «комплексной» пассивации образцов ТОТ.

Таблица 10

Результаты коррозионных испытаний конструкционных образцов и образцов ТОТ после пассивации, 500 ч. Изменения массы m образцов конструкционных материалов в процессе коррозионных испытаний

Образец	$m_{\text{до}}, \text{г}$	$m_{\text{после}}, \text{г}$	Скорость коррозии, $\text{г}/\text{м}^2\text{ч}$
Температура 200 °С, среда ВВЧ + 5мг/л NH_4OH , $\text{O}_2 < 0,5 \text{ мг/л}$			
15ГС	22,8048	22,8039	0,0008
	24,4454	24,4395	0,0050
10X	4,1493	4,1451	0,0012
	4,0089	4,0045	0,0012
12X	4,7758	4,7712	0,0013
	4,8053	4,8013	0,0011

Таблица 11

Рецептура и параметры технологии пассивации образцов ТОТ растворами Трилона Б

Образец	Операция	T, °C	τ, ч	Примечание
10 г/л ТрБ; 2 г/л N ₂ H ₄ ; pH ~ 10,2; T = 250°C				
*12ИТ - 2 шт.		250	5	
**17ППТ - 2 шт.		250	5	

*ИТ – образец ТОТ испарительного модуля, **ППТ – образец ТОТ пароперегревательного модуля.

На рисунках 8, 9 – изображения оксидных пленок на образцах ТОТ после «трилонной» пассивации.



Рисунок 8 – Оксидная пленка на поверхности образца ТОТ испарительного модуля после «трилонной» пассивации при увеличении 2000 крат

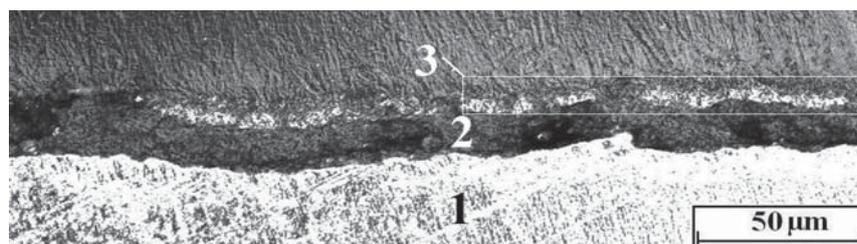


Рисунок 9 – Оксидная пленка на поверхности образца ППТ после «трилонной» пассивации при увеличении 1000 крат
(1 – сталь, 2 – оксидная пленка, 3 – отложения продуктов коррозии)

Испытания «комплексонной» технологии пассивации показали, что, несмотря на пониженную температуру обработки (T = 250 °C), на рабочей поверхности образцов испарительного и пароперегревательного модулей образуется качественная защитная оксидная пленка магнетита, что подтверждают результаты коррозионных испытаний, приведенные в таблице 12.

Таблица 12

Результаты коррозионных испытаний образцов ТОТ после пассивации, 150 ч

Образец	m _{до} , г	m _{после} , г	Скорость коррозии, г/м ² ч
Температура 200 °C, среда ВВЧ + 5мг/л NH ₄ OH, O ₂ < 0,5 мг/л			
12ИТ	10,1378	10,1335	0,0312
17ППТ	9,0129	9,0091	0,0276
Температура 20°C, среда ВВЧ + 5мг/л NH ₄ OH, O ₂ < 0,5 мг/л			
12ИТ	10,1581	10,1555	0,0189
17ППТ	8,8396	8,8383	0,0094

Как следует из данных таблицы 12, скорость коррозии образцов ТОТ испарительного и пароперегревательного модулей, обработанных раствором с концентрацией 10 г/л Трилона Б, находится на уровне проектных значений.

Для подтверждения представительности результатов коррозионных испытаний, проведенных при 150-часовой выдержке, были также проведены высокотемпературные испытания с выдержкой образцов 500 часов (таблица 13).

Данные, приведенные в таблице 13, свидетельствуют о представительности результатов коррозионных испытаний в выбранном временном интервале.

Таблица 13

Результаты коррозионных испытаний конструкционных образцов и образцов ТОТ после пассивации, 500 ч. Изменения массы m образцов конструкционных материалов в процессе коррозионных испытаний

Образец	$P_{до}$, г	$P_{после}$, г	Скорость коррозии, г/м ² ч
Температура 200 °С, среда ВВЧ + 5мг/л NH ₄ OH, O ₂ < 0,5 мг/л			
ИТ	10,0974	10,0950	0,0052
	10,1095	10,1074	0,0046
ППТ	8,9590	8,9531	0,0129
	8,9735	8,9717	0,0039

Полученные данные по коррозионной стойкости защитных оксидных пленок послужили основанием для последующей проверки возможности реализации «совмещенной» технологии «комплексной» пассивации, когда после химической промывки образцов исключается этап водной промывки, в автоклав дополнительно вводится 5 мл концентрата промывочного раствора состава 50 г/л ТрБ, pH ~ 9,6 (NH₄OH) и проводится пассивация образцов при T = 250 °С. Результаты серии экспериментов приведены в таблицах 14 и 15.

Таблица 14

Рецептура и параметры технологии пассивации растворами Трилона Б

Образец	Операция	T, °С	τ , ч	Примечание
Химическая промывка, 5 г/л ТрБ, pH ~ 9,8 (NH ₄ OH), T = 150 °С, 5 ч совмещенная с пассивацией, 5 г/л ТрБ, pH ~ 9,8 (NH ₄ OH), T = 250 °С, 5 ч				
ИТ – 3 шт.		150/250	5/5	Перед пассивацией из автоклава удалено 5 мл отработанного раствора и добавлено 5 мл раствора концентрата состава 50 г/л ТрБ, pH ~ 10,2 (NH ₄ OH)
ППТ – 3 шт.		150/250	5/5	

На рисунках 10–11 приведены изображения оксидной пленки на образцах ИТ, ППТ после «совмещенной» обработки.

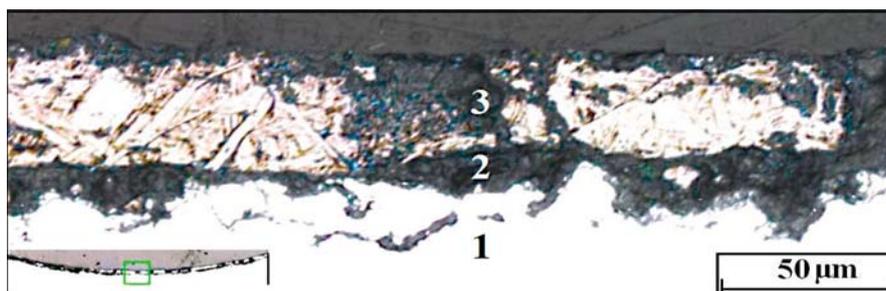


Рисунок 10 – Оксидная пленка на поверхности образца ИТ после «совмещенной» обработки при увеличении 1000 крат (1– сталь, 2 – оксидная пленка, 3 – отложения продуктов коррозии)

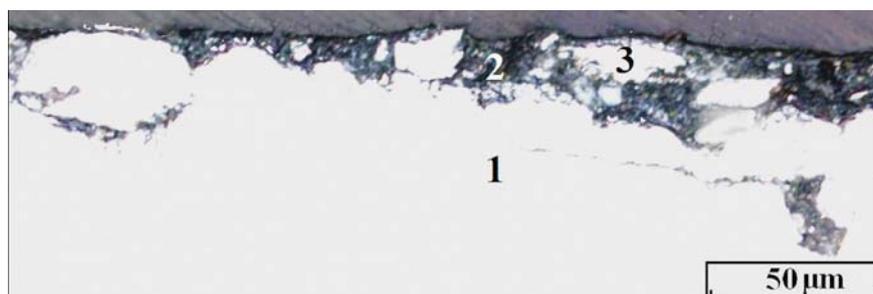


Рисунок 11 – Слои оксидной плёнки на поверхности образца ППТ после «совмещенной обработки», увеличение 1000 крат (1 – сталь, 2 – оксидная пленка, 3 – отложения продуктов коррозии)

Таблица 15

Результаты коррозионных испытаний образцов ТОТ после химической промывки, совмещенной с пассивацией, 150 ч. Изменения массы m образцов конструкционных материалов в процессе коррозионных испытаний

Образец	$P_{до}$, г	$P_{после}$, г	Скорость коррозии, г/м ² ч
Температура 200 °С, среда ВВЧ + 5мг/л NH ₄ OH, O ₂ < 0,5мг/л			
ИТ	10,1325	10,1317	0,0058
	10,0773	10,0770	0,0022
	10,1561	10,1540	0,0152
ППТ	9,0037	9,0033	0,0029
	8,7398	8,7394	0,0029
	9,2158	9,2153	0,0036

Данные, приведенные в таблице 15, подтверждают правомочность реализации «совмещенной» технологии пассивации, поскольку для всех исследованных образцов ТОТ скорость коррозии лежит в пределах значений ниже заданных проектом.

В представленной работе получены экспериментальные данные о соответствии фазового состава защитной оксидной пленки, сформированной по разработанным технологиям проектному ВХР третьего контура РУ БН-800. Защитные свойства оксидных пленок по разработанным рецептурам и технологиям практически на порядок выше проектных значений скоростей коррозии оборудования ПГ Н-272. Все используемые в разработанных рецептурах

химические вещества широко применяются в атомной энергетике. Многолетний опыт применения различных рецептур на основе использованных реагентов убедительно доказал отсутствие их коррозионного воздействия на конструкционные материалы третьего контура РУ БН-800, в том числе, в плане развития специфических видов коррозии.

При отработке режимов химической промывки образцов растворами на основе Трилона Б получены данные, что увеличение времени обработки до 15 часов не приводит к значительному увеличению скорости коррозии оборудования. Единственным осознанным отступлением от требований ТЗ являются технологические параметры «совмещенной» технологии пассивации растворами на основе Трилона Б. Температура процесса составляет 250 °С, однако, ранее была показана возможность кратковременного (3–5 часов) поддержания такой температуры оборудования третьего контура на расхоленной установке. Целесообразность внедрения данной технологии пассивации обосновывается тем, что её применение позволяет резко снизить объём образующихся жидких отходов.

В качестве рецептур и технологий, готовых к применению в условиях третьего контура РУ БН-800, предложены:

- «ацетатная» технология: раствор – 5 г/л NH_4Ac в $5 \cdot 10^{-3}$ М HNO_3 , pH ~ 6,0; T = 180...200 °С; время – 3...5 часов;
- «комплексонная» технология: раствор – 5 г/л ТрБ; pH ~ 9,8 (NH_4OH); T = 250 °С; время – 3...5 часов.

Заключение

1. Определены условия реализации «ацетатной» технологии пассивации конструкционных материалов циркуляционного тракта ПГ Н-272 БАЭС при проведении химической промывки и пассивации.
2. Качество сформированных защитных пленок оценивалось сравнением проектной скорости коррозии конструкционных материалов ПГ Н-272 и скорости коррозии образцов, обработанных по предлагаемым технологиям, что для сталей 10Х2М, 12Х1МФ и 15ГС составляет 1 мм/30 лет или в пересчёте на убыль массы составляет 0,030 г/м²ч.
3. В качестве дополнительных критериев при определении оптимальных химико-технологических параметров разрабатываемых технологий использовались данные фазового и металлографического анализа качества сформированных оксидных пленок.
4. Текущее состояние рабочих поверхностей ТОТ испарительного и пароперегревательного модулей не требует проведения химической промывки и пассивации, достаточно «ускоренных» водных промывок.
5. Приведено обоснование рецептуры растворов и диапазона технологических параметров «комплексонной» технологии для определения возможности проведения пассивации оборудования
6. Разработаны технологии пассивации ПГ Н-272 растворами ацетата аммония и Трилона Б, соответствующие проектному ВХР:
 - рецептура и химико-технологические параметры «ацетатной» технологии: раствор – 5 г/л NH_4Ac в $5 \cdot 10^{-3}$ М HNO_3 , pH ~ 6,0, T = 180...200 °С, время – 3...5 часов.

- рецептура и химико-технологические параметры «комплексонной» технологии: раствор – 5 г/л ТрБ, рН ~ 9,8 (NH₄OH), Т = 250 °С, время – 3...5 часов.
7. При возможности поддержания в течение 3–5 часов температуры рабочих растворов в испарительном и пароперегревательном модулях ПГ на уровне 250 °С для сокращения объема ЖРО целесообразно проведение совмещенной «комплексонной» химической промывки и пассивации.
 8. Скорость коррозии конструкционных материалов после пассивации по разработанным технологиям практически на порядок ниже проектной (0,003 г/м²ч/0,03 г/м²ч).

Литература

1. *Маргулова Т.Х.* Применение комплексонов в теплоэнергетике. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Обоснование и результаты внедрения комплексонно-щелочного водного режима / Т.Х. Маргулова, Л.Н. Москвин, А.А. Ефимов, А.Б. Вайнман, А.Г. Калинина // Теплоэнергетика. – 1983. – № 8. – С. 39–44.
3. Экологически безопасная технология химической обработки внутренних поверхностей котельного оборудования молочной кислотой / Е.Ю. Журавлева, А.А. Ефимов, Б.А. Гусев, Л.Н. Москвин // Промышленная энергетика. – 1991. – № 7. – С. 33–35.
4. *Ефимов А.А.* Совершенствование технологий химических промывок и окисления внутренних поверхностей контуров энергоблоков / А.А. Ефимов, Л.Н. Москвин // Теплоэнергетика. – 2009. – № 7. – С. 7–12.
5. *Маргулова Т.Х.* О механизме защиты от общей коррозии в водных системах высокой чистоты // Теплоэнергетика. – 1980. – № 5. – С. 47–50.

5.4 Исследование выделения водорода при нагреве образцов сталей с противокоррозионными защитными покрытиями в условиях, приближенных к аварийным

О.В. Прохоркина, А.И. Горшков, А.А. Амосов, В.Н. Епимахов

В результате моделирования тяжелых аварий, связанных с нарушением целостности трубопроводов и корпуса реактора, установлено, что в первые сутки после аварии атмосфера внутри защитной оболочки (ЗО) реактора ВВЭР насыщена парогазовой смесью с относительной влажностью до 100 %. Средняя температура атмосферы внутри защитной оболочки может превышать 200 °С и далее снижаться до 150 °С [1].

При авариях с потерей теплоносителя из системы охлаждения проливаются растворы, содержащие борную кислоту, гидроксид калия и гидразин. Гидразин подвергается разложению в парогазовой фазе с образованием аммиака и водорода. [2]. Таким образом, в результате тяжелой аварии внутри защитной оболочки создается высоко-агрессивная среда. Агрес-

сивный эффект усиливается высокой температурой и давлением внутри защитной оболочки, а также жёстким радиоактивным излучением высокой мощности.

В соответствии с требованиями безопасности НП-010-16, НП 040-02 [3, 4], действующими в России, оборудование внутри стальной герметизирующей оболочки АЭС должно быть изготовлено из материалов или защищено специальными покрытиями, исключающими образование водорода при нормальной эксплуатации, нарушениях нормальной эксплуатации, в том числе и при авариях.

Поэтому перед включением в проект атомной станции противокоррозионные защитные покрытия в обязательном порядке подвергаются различным испытаниям в условиях близким к аварийным [1, 5].

Главными требованиями, предъявляемыми к покрытиям, применяемым для защиты оборудования и сооружений в атомной технике, являются такие как пожаробезопасность, способность к дезактивации, радиационная стойкость и сохранение основных эксплуатационных свойств в условиях возможного возникновения аварийных ситуаций внутри защитной оболочки (ЗО), в частности, водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР).

На основании этого в НИТИ были проведены экспериментальные исследования по количественному определению выделяющегося водорода из образцов покрытий на основе эмалей ВИНКОР ЭП-5285 и ВИНКОР ЭП-1155Д, производимых на предприятиях холдинга НПП ВМП «Нева» в Санкт-Петербурге, с целью соответствия их требованиям безопасности и возможности применения для противокоррозионного покрытия внутри ЗО реактора ВВЭР-1200.

Для испытаний были предоставлены металлические образцы из стали Ст2, изготовленные АО «СПЕЦХИММОНТАЖ»: без покрытия, подготовленные для нанесения покрытий, и с покрытиями на основе эмалей ВИНКОР ЭП-1155Д (ТУ 20.30.12-009-67503963-2019) и ВИНКОР ЭП-5285 (ТУ 20.30.12-017-67503963-2019):

- образец № 1 – сталь без покрытия;
- образец № 2 – сталь, подготовленная к нанесению покрытий путём термической металлизации алюминием;
- образец № 3 – сталь с металлизацией алюминием и покрытием эмалью ВИНКОР ЭП-1155Д толщиной 250 мкм;
- образец № 4 – сталь с металлизацией алюминием и покрытием эмалью ВИНКОР ЭП-5285 толщиной 250 мкм;
- образец № 5 – сталь, подготовленная к нанесению покрытий путём предварительной обработки цинковой композицией ЦИНЭП;
- образец № 6 – сталь, обработанная композицией ЦИНЭП и покрытая эмалью ВИНКОР ЭП-1155Д толщиной 300 мкм;
- образец № 7 – сталь, обработанная композицией ЦИНЭП и покрытая эмалью ВИНКОР ЭП-5285 толщиной 300 мкм.

Исследования проводились при следующих параметрах (параметры энергоблока АЭС с ВВЭР 1200 в режиме «Большой течи»):

- среда – парогазовая смесь;
- температура до 150 °С, линейно спадающая в течение 24 часов до послеаварийных значений;

- максимально возможная температура среды – 215 °С;
- время существования температуры более 150 °С в необслуживаемой зоне – 400 с, в зоне ограниченного доступа – 100 с;
- давление абсолютное 0,5 МПа, линейно спадающее в течение 24 часов до послеаварийных значений;
- послеаварийное давление, абсолютное – от 0,098 до 0,12 МПа;
- послеаварийная температура – от 20 до 60 °С;
- время существования аварийного режима до 24 часов;
- время существования послеаварийного режима – не более 30 суток;
- концентрация борной кислоты – от 17 до 25 г/дм³;
- концентрация ионов калия – от 1,0 до 1,5 г/дм³;
- концентрация гидразина – от 0,14 до 0,16 г/дм³.

Методика и порядок проведения исследований

Схема установки для количественного определения водорода, выделяющегося при нагревании образцов с покрытиями приведена на рисунке 1.

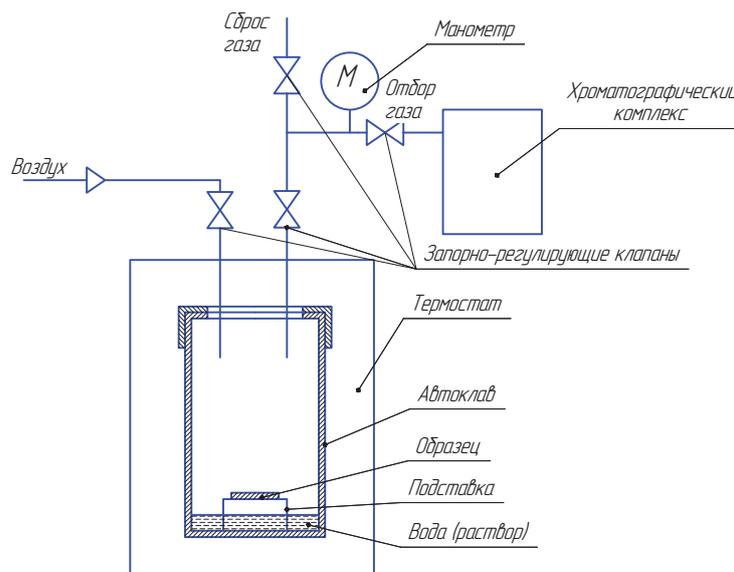


Рисунок 1 – Схема установки для проведения испытаний

Исследуемые образцы помещались в автоклав, изготовленный из нержавеющей стали Х18Н10Т, объёмом (100 ± 5) см³, на подставку, изготовленную в виде спирали из нержавеющей стали Х18Н10Т. Автоклав герметично закрывался крышкой, к которой были подведены линии для подачи воздуха и отбора проб газа на анализ. На линиях установлена запорно-регулирующая арматура и датчики давления. Автоклав помещался в термостат от хроматографа «Кристалл-5000» с диапазоном регулирования температуры от 50 до 400 °С и точностью поддержания температуры ± 1 °С.

Измерения газового состава проводились по «Методике измерений объёмной доли водорода, азота, кислорода, метана, монооксида и диоксида углерода в газовых средах ядерных реакторов методом газовой хроматографии» (№ 05-12-422М – НИТИ, 2012. Свидетель-

ство об аттестации методики измерений № 01.8.04.088/01.00043/2012 от 27.07.12) с использованием программно-аппаратного комплекса на базе хроматографа «Кристалл-5000».

Кроме этого для проведения исследований использовались аттестованные средства измерений:

- эталонный преобразователь давления типа ПДЭ-020И;
- манометр типа ДМ 02-050-1-М с пределом измерения 25 кгс/см², класс точности 2,5;
- штангенциркуль, типа ЩЦ-1 - 150-0,05;
- лабораторные весы типа ЛВ 201 А.

Для приготовления растворов применялись следующие реактивы:

- дистиллированная вода по ГОСТ Р 58144-2018;
- кислота борная, квалификации «х.ч.» по ГОСТ 9656-75;
- калий гидроксид, квалификации «х.ч.» по ГОСТ 24363-80;
- гидразин -гидрат технический по ГОСТ 19503-88.

Испытания проводились в следующей последовательности.

С использованием штангенциркуля измерялись диаметр и толщина образцов и рассчитывались площади поверхности образцов. Диаметр образцов составлял $0,03 \pm 0,001$ м, толщина образца – $0,004 \pm 0,0005$ м, площадь – $0,0018 \pm 0,0002$ м².

Образец взвешивался на лабораторных весах и далее помещался в автоклав. Вес образца составлял 18 ± 1 г. В автоклав заливалась дистиллированная вода или раствор борной кислоты с добавками гидроксида калия и гидразина с концентрациями борной кислоты – 20 ± 2 г/дм³, ионов калия – $1,2 \pm 0,1$ г/дм³ и гидразина – $0,15 \pm 0,02$ г/дм³, объемом 2–4 см³.

Автоклав закрывался и проверялся на герметичность при подаче воздуха при давлении до 600 кПа в течение 30 минут. Если за это время падение давления не превышало 5 кПа, то автоклав считался герметичным.

Перед испытаниями проводился анализ воздуха из автоклава.

Избыточное давление воздуха в автоклаве доводилось до (200 ± 10) кПа. Автоклав помещался в термостат и выдерживался в нём в течение 30 минут при температуре 35 °С до стабилизации показаний по давлению.

С помощью программы «Хроматэк Аналитик» включались режимы нагрева и охлаждения термостата. В программе управления работой термостата задавались следующие параметры:

- начальная температура;
- скорость нагрева;
- температура нагрева;
- время выдержки при достижении заданной температуры нагрева 150°С (215°С);
- скорость охлаждения;
- конечная температура охлаждения.

Во время нагрева и охлаждения измерялось давление, а после охлаждения до комнатной температуры измерялся состав газовой среды.

При повторном эксперименте с данным образцом, газ в автоклаве менялся на воздух,

проводился его анализ и эксперимент повторялся.

По завершению эксперимента автоклав вскрывался, образец извлекался и повторно взвешивался. Проводились осмотр и фотографирование образца.

Количество выделившегося водорода с 1 м² покрытия образца рассчитывалось по формуле (1).

$$V_{H_2} = \frac{V_{г.н.у} \cdot C_{H_2}}{100 \cdot S}, \quad (1)$$

где V_{H_2} – количество выделившегося водорода с 1 м² покрытия, л/м²;
 C_{H_2} – концентрация водорода в автоклаве после проведения эксперимента, % об;
 S – площадь поверхности образца, м²;
 $V_{г.н.у}$ – объём газа в автоклаве после его охлаждения, приведенный к нормальным условиям, рассчитывался по формуле (2), л;

$$V_{г.н.у} = (V_a - V_в) \cdot \frac{(P_k + P_{атм.} - P_{вп.}) \cdot T_0}{T_k \cdot P_0}, \quad (2)$$

V_a – геометрический объём автоклава, л;
 $V_в$ – объём воды (раствора), л;
 P_k – конечное давление в автоклаве после его охлаждения, кПа (изб.);
 $P_{атм.}$ – атмосферное давление, кПа;
 T_k – конечная температура в автоклаве после его охлаждения, К;
 $P_{вп.}$ – давление водяных паров при температуре T_k , кПа;
 P_0, T_0 – давление и температура при нормальных условиях, равные соответственно 101,3 кПа и 273 К.

Оценка фонового выделения водорода при нагреве автоклава

Перед проведением исследований выполнена оценка изменения газового состава в автоклаве при следующих условиях:

- автоклав заполнен сухим воздухом и выдержан при температуре 150 °С в течение 60 минут;
- автоклав выдержан при температуре 150 °С в течение 60 минут после добавления дистиллированной воды объёмом 2 мл;
- автоклав выдержан при температуре 150 °С в течение 60 минут после добавления раствора борной кислоты, гидроксида калия и гидразина объёмом 2 мл;
- автоклав выдержан при температуре 215 °С в течение 6 минут после добавления раствора борной кислоты, гидроксида калия и гидразина объёмом 2 мл;
- автоклав выдержан при температуре 150 °С в течение 60 минут после добавления дистиллированной воды объёмом 2 мл и размещения образца без предварительной обработки и покрытия (образец № 1);

Выделения водорода в автоклаве при нагреве его до температуры 150 °С в сухой и влажной атмосфере, а также с раствором борной кислоты, гидроксида калия и гидразина не происходило.

При нагреве автоклава до температуры 215 °С с раствором борной кислоты, гидроксида калия и гидразина концентрация водорода составила 0,25 % об., что соответствует выделению водорода из образца стали площадью 0,0018 м² – 0,36 л/м². Также наблюдалось снижение концентрации кислорода с 20,9 до 13,4 % об., что можно объяснить термическим разложением гидразина и его взаимодействием с кислородом при данной температуре [2].

При нагреве образца стали без покрытия во влажной атмосфере при температуре 150 °С, в течение 60 минут выделение водорода не превышало 0,05 л с 1 квадратного метра поверхности образца (л/м²).

Результаты испытаний образцов с металлизацией алюминием

При нагреве образца с металлизацией алюминием (образец № 2) до температуры 150 °С в течение 60 минут во влажной атмосфере наблюдалось выделение водорода до 11,5 л/м² (эксперимент 1-1) В последующие 60 минут количество выделившегося водорода уменьшилось в 10 раз и составило 1,1 л/м² (эксперимент 1-2).

Такая же зависимость наблюдалась при нагреве до 150 °С другого образца № 2 в растворе с борной кислотой, гидроксидом калия и гидразином: в начальные 60 минут выделение водорода составило 6,8 л/м² (эксперимент 1-3), а в течение следующих 60 минут – 0,95 л/м² (эксперимент 1-4).

Концентрации кислорода и диоксида углерода в данных экспериментах изменялись незначительно.

При нагреве образца с металлизацией алюминием и покрытием ВИНКОР ЭП-1155Д – 250 мкм (образец № 3) во влажной атмосфере при 150 °С в течение 180 минут выделение водорода составило 11,0 л/м² (эксперимент 1-5).

При нагреве другого образца № 3 до температуры 150 °С в растворе с борной кислотой, гидроксидом калия и гидразином в течение первых 60 минут выделение водорода составляло 3,4 л/м² (эксперимент 1-6), а в последующие 60 минут 0,79 л/м² (эксперимент 1-7).

При нагреве еще одного образца № 3 до температуры 150 °С в растворе с борной кислотой, гидроксидом калия и гидразином в течение 60 минут и охлаждением до температуры 35 °С в течение 24 часов выделение водорода составило 4,25 л/м² (эксперимент 1-8).

При нагреве нового образца № 3 до температуры 215 °С в растворе с борной кислотой, гидроксидом калия и гидразином и кратковременной выдержке в течение 6 минут выделение водорода составило 7,42 л/м² (эксперимент 1-9).

Также при нагреве образцов № 3 наблюдалось повышение концентрации диоксида углерода до 0,82 % об и снижение концентрации кислорода до 17 % об.

При нагреве образца стали с металлизацией алюминием и покрытием ВИНКОР ЭП-5285 – 250 мкм (образец № 4) во влажной атмосфере при 150 °С в течение 60 минут выделение водорода составило 10,4 л/м² (эксперимент 1-10). При повторном нагреве этого же образца (после замены газа на воздух) при 150 °С в течение 180 минут выделение водорода снизилось до 2,8 л/м² (эксперимент 1-11).

При нагреве нового образца № 4 до температуры 150 °С в растворе с борной кислотой, гидроксидом калия и гидразином в течение первых 60 минут выделение водорода составляло 7,7 л/м² (эксперимент 1-12), в последующие 60 минут – 2,5 л/м² (эксперимент 1-13). При нагревании в третий раз до температуры 150 °С в течение 60 минут выделение водорода снизилось до 0,9 л/м² (эксперимент 1-14).

При нагреве образца № 4 до температуры 215 °С в растворе с борной кислотой, гидроксидом калия и гидразином и кратковременной выдержке в течение 6 минут выделение водорода составило 8,2 л/м² (эксперимент 1-15).

При нагреве образцов № 4 наблюдалось повышение концентрации диоксида углерода до 1,15 % об и снижение концентрации кислорода до 15,3 % об.

Из приведенной диаграммы на рисунке 2 видно, что при нагреве образцов с металлизацией алюминием и покрытием различными эмалями до температуры 150 °С наблюдается снижение выделения водорода во времени. Наибольшее выделение водорода происходит в первые 60 минут нагрева при добавлении в автоклав дистиллированной воды. В растворе борной кислоты количество выделяющего водорода примерно в два раза меньше. При кратковременном нагреве образца до температуры 215 °С выделение водорода в растворе с борной кислотой, гидроксидом калия и гидразином увеличилось, но не превысило количества водорода, выделившегося при нагреве до температуры 150 °С при добавлении дистиллированной воды.



Рисунок 2 – Диаграмма изменения количества выделившегося водорода при нагреве образцов до температуры 150 °С (и кратковременном нагреве до 215 °С) с металлизацией алюминием и покрытиями ВИНИКОР ЭП-1155Д – 250 мкм и ВИНИКОР ЭП-5285 – 250 мкм

Осмотр образцов после проведения испытаний показал, что в большинстве случаев нарушений поверхности образцов с металлизацией алюминием не наблюдается. Нарушение покрытия произошло у образца с металлизацией алюминием и покрытием эмалью ВИНИКОР

ЭП-1155Д – 250 мкм после нагрева в течение 120 минут при температуре 150 °С при добавлении раствора борной кислоты, гидроксида калия и гидразина, а также у образца с металлизацией алюминием и покрытием эмалью ВИНИКОР ЭП-1155Д – 250 мкм при кратковременном нагреве до температуры 215 °С при добавлении раствора борной кислоты, гидроксида калия и гидразина (рисунок 3).

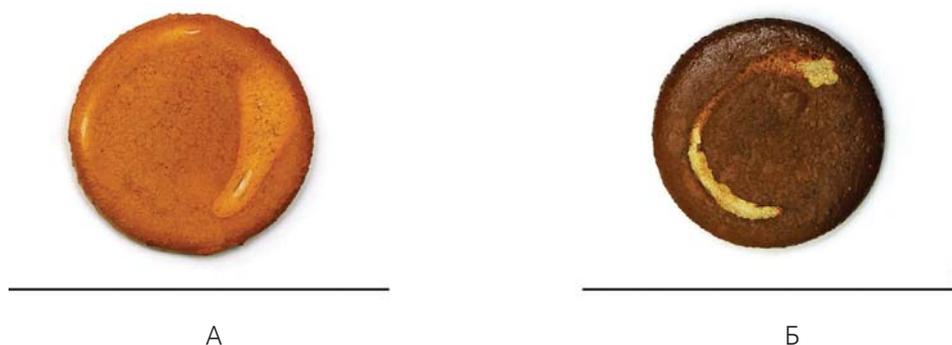


Рисунок 3 – Вид покрытия у образца №3: сталь с нанесенной металлизацией алюминием и покрытием эмалью ВИНИКОР ЭП-1155Д – 250 мкм

А – после нагрева в течение 120 минут при температуре 150 °С при добавлении раствора борной кислоты, гидроксида калия и гидразина; Б – при кратковременном нагреве до температуры 215 °С при добавлении раствора борной кислоты, гидроксида калия и гидразина.

Исходя из полученных данных, можно считать, что основной вклад в выделение водорода вносит термическая металлизация стали алюминием, а не покрытие эмалью ВИНИКОР ЭП-1155Д и ВИНИКОР ЭП-5285.

Результаты испытаний образцов с нанесенной композицией ЦИНЭП

При нагреве образца стали с композицией ЦИНЭП (образец № 5) до температуры 150 °С в течение 60 минут во влажной атмосфере выделение водорода составило 5,8 л/м² (эксперимент 2-1). При повторных нагреваниях (эксперимент 2-2) и (эксперимент 2-3) в течение 60 минут объём выделившегося водорода практически не изменился – 5,3 и 6,2 л/м², соответственно. При нагревании образца стали с композицией ЦИНЭП до температуры 150 °С в течение 240 минут во влажной атмосфере выделение водорода достигло 22,2 л/м² (эксперимент 2-4).

При нагреве до 150 °С образца № 5 в растворе с борной кислотой, гидроксидом калия и гидразином в течение 60 минут выделение водорода по сравнению с добавлением дистиллированной воды несколько снизилось и составило 3,5 л/м² (эксперимент 2-5).

Концентрация кислорода при нагревании образцов заметно снижалась, так при нагревании в течение 240 минут снизилась с 20,9 до 6,55 % об. Концентрация диоксида углерода в данных экспериментах увеличивалась до 1,0 % об.

При нагреве образца с композицией ЦИНЭП и покрытием эмалью ВИНИКОР ЭП-1155Д – 300 мкм (образец № 6) до температуры 150 °С в течение 60 минут во влажной атмосфере выделение водорода составило 3,5 л/м² (эксперимент 2-6). При повторных втором (экспери-

мент 2-7) и третьем (эксперимент 2-8) нагреваниях в течение 60 минут выделение водорода изменилось незначительно – 2,7 и 3,7 л/м², соответственно. При нагревании образца стали с композицией ЦИНЭП до температуры 150 °С в течение 240 минут во влажной атмосфере выделение водорода достигло 7,4 л/м² (эксперимент 2-9).

Концентрация кислорода при нагревании образцов снижалась и при нагревании в течение 240 минут достигла 17,5 % об, а концентрация диоксида углерода увеличивалась до 0,36 % об.

При нагревании образца № 6 до температуры 150 °С в растворе с борной кислотой, гидроксидом калия и гидразином в течение 60 минут выделение водорода по сравнению с добавлением дистиллированной воды снизилось и составило 1,6 л/м² (эксперимент 2-10). При повторном нагревании при температуре 150 °С в течение 60 минут (эксперимент 2-11) изменения выделения водорода не наблюдалось (1,6 л/м²).

При нагреве образца до температуры 150 °С в растворе с борной кислотой, гидроксидом калия и гидразином в течение 60 минут и охлаждением до температуры 35 °С в течение 24 часов выделение водорода составило 8,6 л/м² (эксперимент 2-12).

При нагреве образца до температуры 215 °С в растворе с борной кислотой, гидроксидом калия и гидразином и кратковременной выдержке в течение 6 минут выделение водорода составило 20,1 л/м² (эксперимент 2-13).

При нагреве образца с нанесенной композицией ЦИНЭП и покрытием эмалью ВИННИКОР ЭП-5285 – 300 мкм (образец № 7) до температуры 150 °С в течение 60 минут во влажной атмосфере наблюдается выделение водорода до 2,8 л/м² (эксперимент 2-14).

При нагреве образца до температуры 150 °С в растворе с борной кислотой, гидроксидом калия и гидразином в течение 60 минут выделение водорода по сравнению с добавлением дистиллированной воды снизилось и составило 2,1 л/м² (эксперимент 2-15). При повторных нагреваниях при температуре 150 °С в течение 60 минут (эксперимент 2-16) и (эксперимент 2-17) заметного изменения выделения водорода не наблюдалось (1,7 и 1,8 л/м²).

При нагреве образца до температуры 215 °С в растворе с борной кислотой, гидроксидом калия и гидразином и кратковременной выдержке в течение 6 минут выделение водорода составило 27,6 л/м² (эксперимент 2-18).

Концентрация кислорода при нагревании образца до температуры 150 °С снижалась незначительно (от 20,9 до 19,3 % об), концентрация диоксида углерода повышалась от 0,03 до 0,20 % об. При нагревании образца до температуры 215 °С концентрация кислорода снизилась от 20,9 до 14,6 % об., а концентрация диоксида углерода увеличивалась от 0,03 до 0,57 % об.

Из диаграммы (см. рисунок 4) видно, что при нагревании образцов с композицией ЦИНЭП и покрытием различными эмалями до температуры 150 °С наблюдается равномерное выделение водорода во времени. Снижение выделения водорода происходит при замене дистиллированной воды на раствор борной кислоты, гидроксида калия и гидразина, а также при покрытии образцов эмалями. При кратковременном нагреве образца до температуры 215 °С выделение водорода в растворе борной кислоты, гидроксида калия и гидразина возрастает более, чем в десять раз.



Рисунок 4 – Диаграмма изменения количества выделившегося водорода при нагреве образцов до температуры 150 °С (и кратковременном нагреве до 215 °С) с нанесенной композицией ЦИНЭП и покрытиями ВИНИКОР ЭП-1155Д – 300 мкм и ВИНИКОР ЭП-5285 – 300 мкм

Из результатов осмотра образцов после проведения испытаний следует, что нарушение поверхности образцов с композицией ЦИНЭП происходит во всех случаях (как в воде, так и в растворе) при нагревании до температуры 150 °С (см. рисунок 5).



Рисунок 5 – Вид покрытия у образца № 5: сталь с нанесенной композицией ЦИНЭП

А – температура 150 °С в течение 150 минут, вода; Б – температура 150 °С в течение 240 минут, вода; В – температура 150 °С в течение 60 минут, раствор борной кислоты, гидроксида калия и гидразина.

Нарушение целостности покрытия наблюдаются у образца с нанесённой композицией ЦИНЭП и покрытием эмалью ВИНИКОР ЭП-1155Д – 300 мкм после длительного нагрева в течение 240–300 минут при температуре 150 °С при добавлении дистиллированной воды и раствора борной кислоты, гидроксида калия и гидразина (см. рисунок 6).



Рисунок 6 – Вид покрытия у образца № 6: сталь с композицией ЦИНЭП и покрытием эмалью ВИНИКОР ЭП-1155Д – 300 мкм

А – нагрев образца при температуре 150 °С в течение 240 минут при добавлении дистиллированной воды; Б – нагрев образца при температуре 150 °С в течение 300 минут при добавлении раствора борной кислоты, гидроксида калия и гидразина.

Наиболее существенное изменение поверхности произошло у образца с композицией ЦИНЭП и покрытием эмалью ВИНИКОР ЭП-5285 – 300 мкм при нагреве до температуры 215 °С при добавлении раствора борной кислоты, гидроксида калия и гидразина (см. рисунок 7).

Полученные данные свидетельствуют, что основной вклад в выделение водорода вносит, как и в случае с металлизацией стали алюминием, не эмали ВИНИКОР ЭП-1155Д и ВИНИКОР ЭП-5285, а композиция ЦИНЭП.



Рисунок 7 – Вид покрытия у образца № 7: сталь с композицией ЦИНЭП и покрытием эмалью ВИНИКОР ЭП-5285 – 300 мкм:

А – перед испытаниями; Б – после нагрева образца при температуре 215 °С в течение 6 минут при добавлении раствора борной кислоты, гидроксида калия и гидразина.

Следует отметить, что при нагревании образцов с различными покрытиями происходит незначительное увеличение массы образцов, в среднем на 0,1–0,2 % относительных. При этом какой-то зависимости от времени нагрева, температуры, состава раствора и параметров покрытия не прослеживается.

Выводы

Исходя из результатов исследований представленных образцов следует, что применение противокоррозионных покрытий для стальной защитной оболочки реактора ВВЭР-1200 на основе эмалей ВИНИКОР ЭП-1155Д и ВИНИКОР ЭП-5285 производства холдинга НПП ВМП «Нева», с предварительной обработкой поверхностей термической металлизацией алюминием или нанесением цинковой композиции ЦИНЭП не соответствует требованиям безопасности из за выделения водорода при аварийных режимах.

При этом основной вклад в выделение водорода вносит предварительная обработка поверхностей как путем термической металлизации алюминием, так и нанесением цинковой композиции.

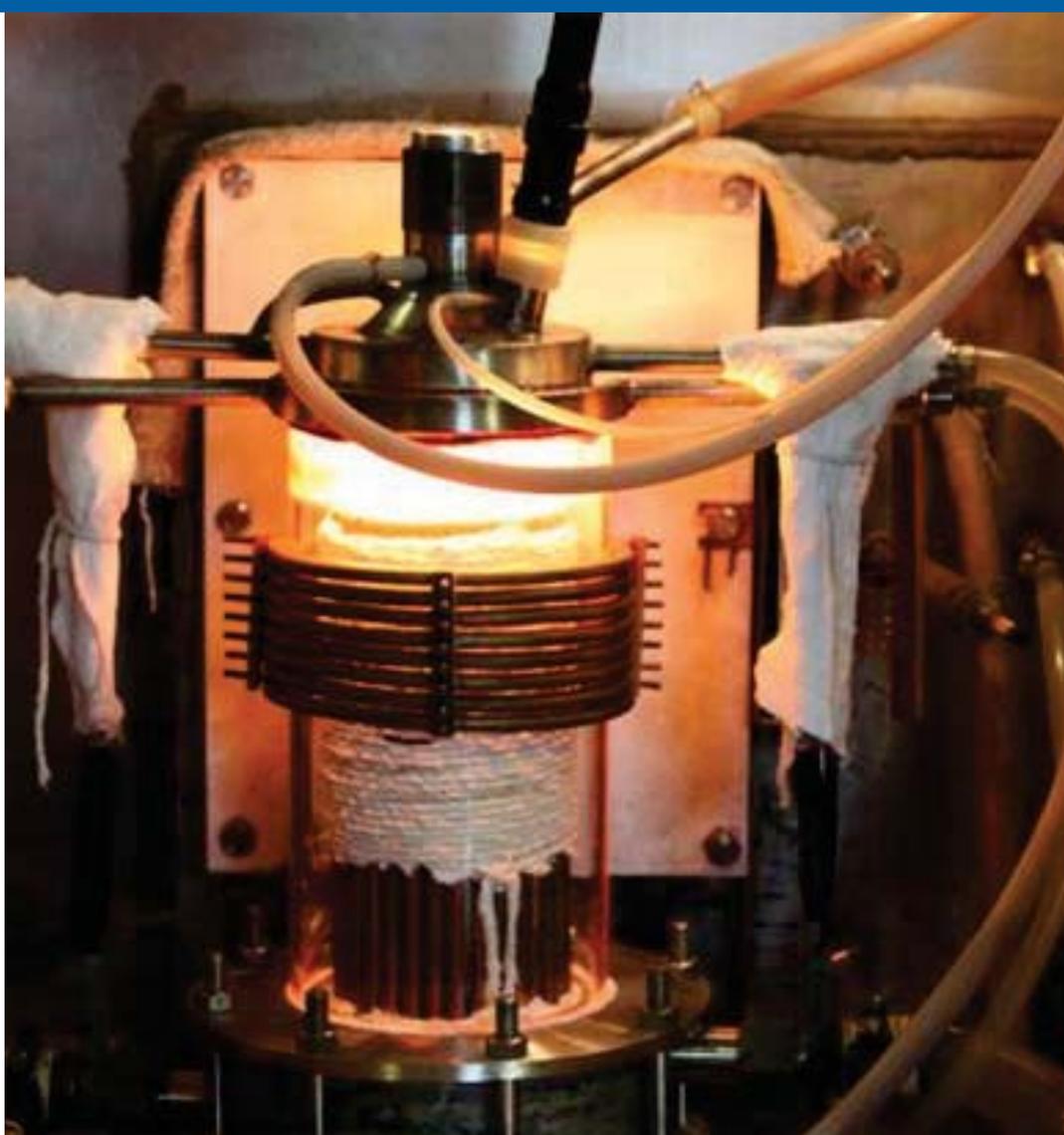
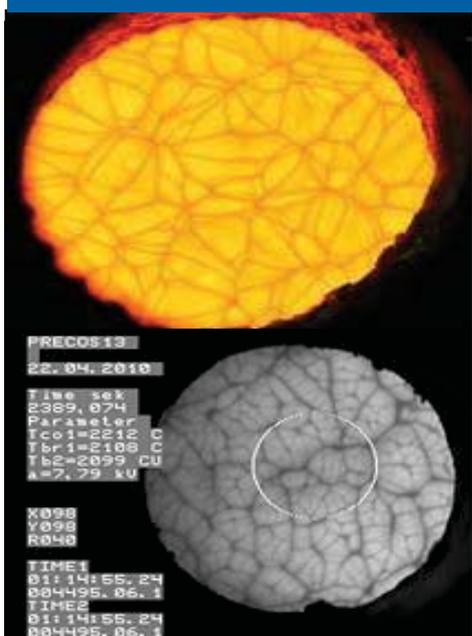
Рекомендовано изготовителю эмалей ВИНИКОР ЭП-1155Д и ВИНИКОР ЭП-5285 (холдинг НПП ВМП «Нева», г. Санкт-Петербург) при использовании их для противокоррозионного покрытия элементов защитных оболочек АЭС отказаться от металлизации алюминием и нанесения композиции ЦИНЭП при предварительной подготовке поверхностей.

Следует провести повторные испытания эмалей ВИНИКОР ЭП-1155Д и ВИНИКОР ЭП-5285 после изменения технологии предварительной обработки поверхностей.

Литература

1. Исследование поведения покрытия контейнента на основе органосиликатной композиции ОС 51–03 при тяжелых авариях на АЭС / А. А. Фиськов, В. Г. Крицкий, А. Ю. Макасеев, Ю. Н. Макасеев, В. М. Погребенков // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ. – 2018. – № 2 (12). – С. 66–75.
2. Методические указания по применению гидразина на энергетических установках тепловых электростанций РД 34.37.503-94.
3. НП-010-16 Правила устройства и эксплуатации локализирующих систем безопасности атомных станций.
4. НП 040-02 Правила обеспечения водородной взрывозащиты на атомной станции.
5. Исследование поведения лакокрасочных покрытий на основе эмали ВЛ-515 при тяжёлых авариях на АЭС / А. А. Фиськов, В. Г. Крицкий, А. Ю. Макасеев, Ю. Н. Макасеев, В. М. Погребенков // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ. – 2019. – № 3 (17). – С. 56–62.

6



6. Исследования тяжёлых аварий

В.И. Альмяшев

В 2020 году в отделе исследований тяжелых аварий (ОИТА) ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» на установках экспериментального комплекса «Расплав», использующих для приготовления расплава технологию индукционной плавки в холодном тигле, продолжено исследование процессов, протекающих на различных стадиях тяжёлых аварий на АЭС.

По договору с АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» «Изготовление и пост-тест анализ образцов кориума прототипных внекорпусной стадии аварии на АЭС Фукусима-1» произведено наплавление слитков и изготовление образцов кориума, соответствующего внекорпусной стадии аварии на АЭС Фукусима-Дайичи (Фукусима-1). Проведен цикл пост-тестовых исследований и передача образцов Заказчику.

По договору с ИБРАЭ РАН проведены работы по исследованию процессов, протекание которых возможно в условиях гипотетических запроектных аварий на перспективной реакторной установке БРЕСТ-ОД-300. Получены новые экспериментальные данные, которые могут быть использованы для создания моделей и верификации кодов, моделирующих тяжёлые аварии на установках этого типа.

Ниже кратко изложены основные результаты исследований, проведенных ОИТА в 2020 году.

6.1 Изготовление и исследование образцов кориума, прототипного внекорпусной стадии аварии на АЭС Фукусима-Дайичи

В.Б. Хабенский, В.И. Альмяшев, Е.В. Крушинов, С.А. Витоль,
С.Ю. Котова, Е.К. Каляго, Е.В. Шевченко, В.Р. Булыгин,
Е.Б. Шуваева, Е.М. Беляева

Работа выполнена по договору с АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» «Изготовление и пост-тест анализ образцов кориума прототипных внекорпусной стадии аварии на

АЭС Фукусима-1» в рамках международного проекта «Вывод из эксплуатации и обращение с загрязненной водой (разработка технологий сбора данных и анализа свойств топливных осколков) (оценка свойств старения топливных осколков)» между АО «Техснабэкспорт» и Mitsubishi Research Institute (Япония).

Целью работы являлось изготовление образцов кориума, прототипных внекорпусной стадии аварии на АЭС Фукусима-Дайичи, методом индукционной плавки в холодном тигле (ИПХТ) и передача изготовленных образцов заказчику для проведения дальнейших исследований. Образцы кориума были получены на комплексе экспериментальных установок «Расплав», представляющем собой несколько индукционных установок с высокочастотными генераторами, позволяющими охватить широкий диапазон составов от металлических до оксидных с низкой электропроводностью.

Состав согласованных с Заказчиком композиций охватывает широкий диапазон соотношения «кориум/бетон», что делает возможным получение более точных закономерностей при построении моделей старения топливного дебриса, характерного для условий внекорпусной стадии тяжелой аварии на первом блоке АЭС Фукусима-Дайичи. Для одной из исследованных композиций варьировалась скорость охлаждения расплава, чтобы оценить влияние на микроструктуру и соотношение закристаллизованных и аморфных фаз в образцах. Полученная информация позволит учесть в модели старения топливного дебриса его термическую предысторию. Одна из композиций была выбрана прототипной внутрикорпусной стадии аварии на АЭС ТМ1-2 (США). Кориумный дебрис ТМ1-2 хорошо исследован, в том числе и его устойчивость в различных условиях. Получение и сопоставление данных по этой композиции с реальным кориумным дебрисом ТМ1-2 позволяет доказать прототипность изготовленных образцов реальным составам не только по элементному содержанию, но и по составу и соотношению фаз, микроструктурным параметрам. Такое соответствие крайне важно для получения корректных оценок устойчивости кориумного дебриса.

В первую очередь были проведены эксперименты ТЕН-03 и ТЕН-04, которые являлись претестами для зачетных экспериментов. В ходе них производился выбор и отладка необходимого оборудования: ВЧ-генератора, тигля необходимого размера и т.д., а также оптимизация режимов плавки.

Исследования выполняли на установках «Расплав-2», «Расплав-3» и «Расплав-4» экспериментального комплекса «Расплав». Выбор ВЧ-генератора и, соответственно, той или иной установки обуславливался количеством стеклофазы в наплавляемом расплаве. Так для эксперимента ТЕН-06, моделировавшего кориум, прототипный аварии на ТМ1-2, в котором стеклофаза отсутствовала полностью, применялась установка «Расплав-3» с ВЧ-генератором самой низкой частоты – 120 кГц. Для экспериментов ТЕН-01÷ТЕН-05 и ТЕН-07 со значительным количеством стеклофазы применялась установка «Расплав-2» с ВЧ-генератором частоты 1,76 МГц. А в эксперименте ТЕН-08 с максимальным количеством стеклофазы необходимо было использовать установку «Расплав-4» с максимальной частотой ВЧ-генератора, равной 5,28 МГц.

В плавках применялись тигли с внутренним диаметром 70 и 100 мм. На рисунке 1 представлен вид холодных тиглей в сборе, подготовленных для проведения плавки кориума. На рисунке представлены тигли с внутренним диаметром: а) 70 мм и б) 100 мм.

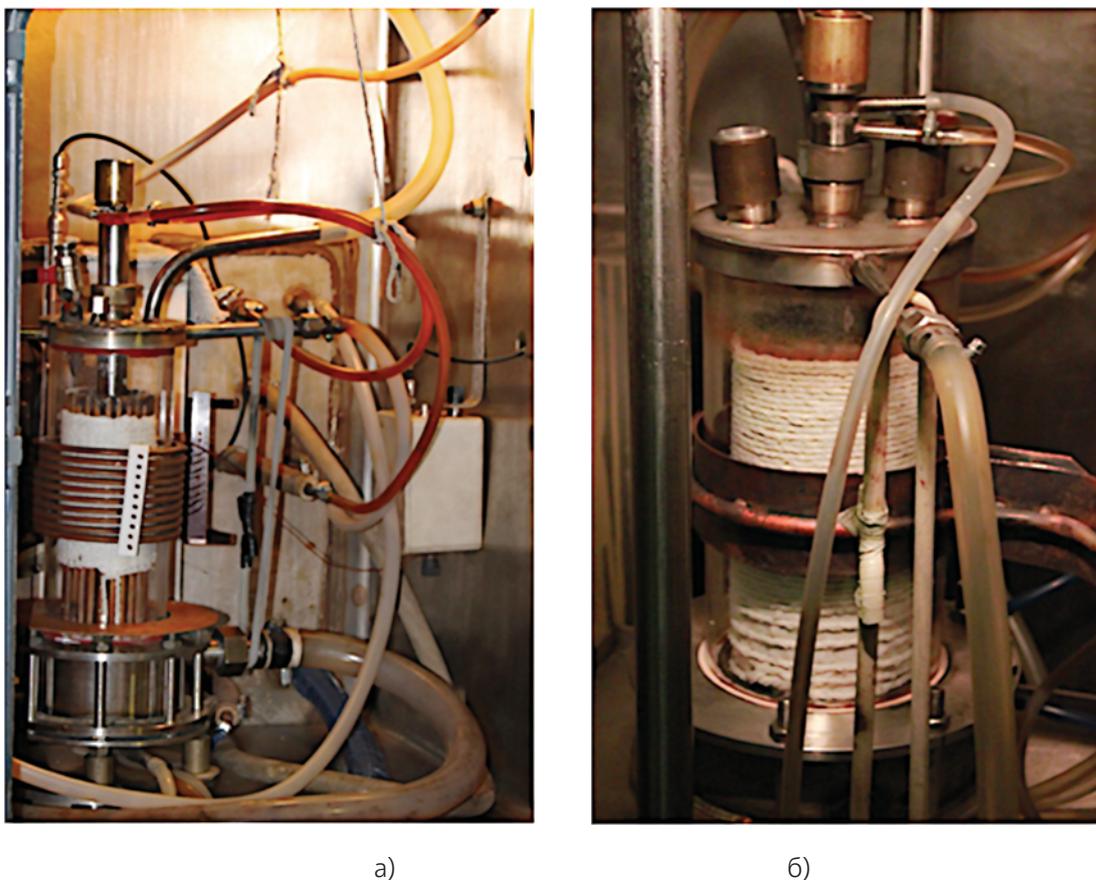


Рисунок 1 – Вид защитного бокса и тигля в сборе для экспериментов:
а) TEN-06 (внутренний диаметр тигля 70 мм), б) TEN-08 (диаметр 100 мм)

Рабочей газовой средой во всех экспериментах кроме TEN-06 являлся азот (в процессе выдержки расплава). Плавка эксперимента TEN-06, в загрузке которого SiO_2 отсутствовал, проходила в атмосфере аргона высокой чистоты.

После наплавления слитков кориума заданного состава производилось их фрагментирование на более мелкие образцы для проведения дальнейших исследований (в т.ч. различных видов анализов, старения, скорости выщелачивания, плотности и др.). Для придания большинству фрагментов правильной геометрической формы (с целью более точного определения площадей поверхностей) использовали отрезной станок «Well Precision Wire 6234», на котором стальной проволокой диаметром 0.5 мм с алмазным напылением выполняли осевые и поперечные разрезы (рисунок 2). В качестве примера схемы фрагментирования на рисунке 3 приведена соответствующая схема слитка из эксперимента TEN-01, а на рисунке 4 показан результат фрагментирования.

После отрезания донного и бокового гарнисажа производили нарезку фрагментов – рабочих образцов. Из слитков с большим содержанием стеклофазы, а также имеющих большой объём (слитки TEN-05, TEN-07, TEN-08) нарезку фрагментов осуществляли пилкой больших кусков кориума из верхней, средней и нижней частей расколотых слитков.

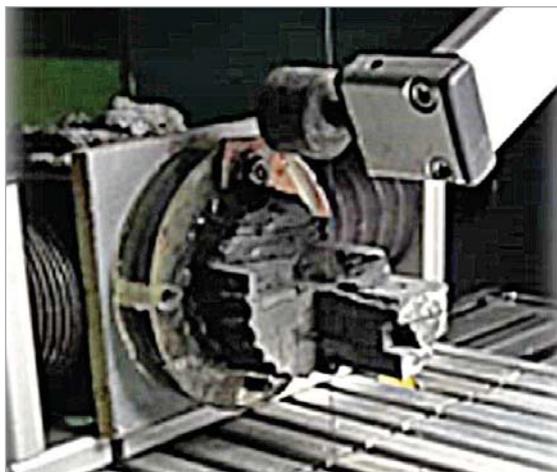


Рисунок 2 – Процесс фрагментирования (резки) полученного в ходе эксперимента TEN-01 слитка

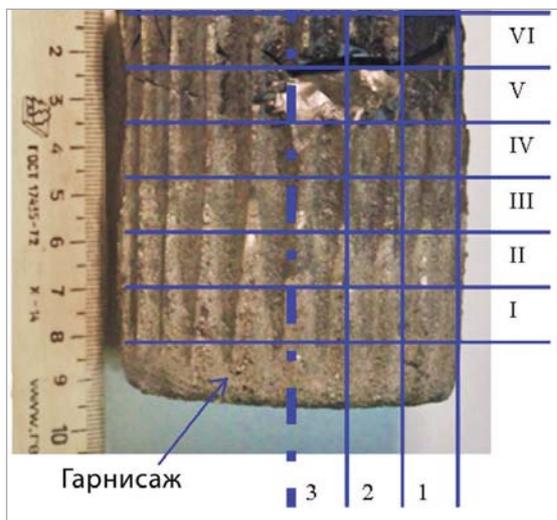


Рисунок 3 – Схема фрагментирования полученного в ходе эксперимента TEN-01 слитка



Рисунок 4 – Вид нарезанных фрагментов слитка TEN-01

Проведенные пост-тест исследования фрагментов образцов из различных зон полученных слитков показали их однородность на макро- и микроуровне, что являлось одним из важнейших условий для дальнейшей работы с образцами на втором этапе работы в АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» и АО «ГНЦ НИИАР».

После проведенных синтезов, фрагментирования и пост-тестовых исследований была произведена подготовка к передаче полученных образцов кориума Заказчику. Подготовленные фрагменты взвешивали, маркировали, паспортизовали и упаковывали в сертифицированные контейнеры. После подготовки контейнеры с образцами были переданы Заказчику. Независимые исследования в лабораториях Заказчика подтвердили качество переданных образцов и были использованы на второй фазе международного проекта «Вывод из эксплуатации и обращение с загрязненной водой (разработка технологий сбора данных и анализа свойств топливных осколков) (оценка свойств старения топливных осколков)». Данная работа междивизионного коллектива была высоко оценена в номинации «За укрепление международного авторитета Росатома» отраслевой программы признания «Человек года Росатома».

Основные результаты:

- Для изготовления образцов с высоким содержанием компонентов с низкой электропроводностью была проведена оптимизация методики плавки для утвержденных Заказчиком составов, а также проведено переоснащение и настройка оборудования установок «Расплав-2», «Расплав-4» и информационно-измерительной системы ИИС-РМ комплекса экспериментальных установок «Расплав».
- В соответствии с требованиями технического задания по договору с АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» «Изготовление и пост-тест анализ образцов кориума прототипных внекорпусной стадии аварии на АЭС Фукусима-1» в проведенных экспериментах TEN-01 – TEN-08 изготовлены и фрагментированы шесть слитков кориума.
- Произведены пост-тестовые исследования полученных образцов, показавшие их однородность на макро- и микроуровне.
- Фрагментированные образцы кориума подготовлены к передаче и переданы Заказчику. Независимые исследования характеристик переданных образцов продемонстрировали их высокое качество и пригодность для проведения дальнейших исследований.

6.2 Разработка программы и проведение экспериментальных исследований процессов, протекающих при гипотетических авариях с расплавлением активной зоны реактора со свинцовым теплоносителем

В.Б. Хабенский, В.И. Альмяшев, А.А. Сулацкий, Е.В. Крушинов,
С.А. Витоль, С.Ю. Котова, Е.К. Каляго, Е.В. Шевченко,
В.Р. Булыгин, Е.Б. Шуваева, А.В. Тимчук

Работа выполнена в рамках договора с Институтом безопасного развития атомной энергетики РАН «Проведение экспериментальных работ по исследованию взаимодействия материалов активной зоны при тяжелых авариях».



Рисунок 1 – Внешний вид экспериментальной установки «Расплав-3», подготовленной к проведению исследований выхода паров и аэрозолей из расплава теплоносителя и расплава системы «свинец-сталь» в окислительной атмосфере:

- а) общий вид; б) экспериментальная ячейка в сборе в защитном боксе;
- в) газоаэрозольная система; г) процесс чистки газоаэрозольного тракта и отбора аэрозолей;
- д) ячейка в сборе после проведения эксперимента; е) процесс разборки ячейки.

Для убедительного доказательства преимуществ проектов реакторных установок со свинцовым теплоносителем (в частности, БРЕСТ-ОД-300) необходимо проведение экспериментальных исследований процессов высокотемпературного взаимодействия расплава свинцового теплоносителя с материалом оболочки твэлов, топливом, материалом корпуса и бетоном РУ при гипотетической тяжелой аварии.

Для экспериментального обоснования таких процессов с использованием прототипных компонентов использован метод индукционной плавки в холодном тигле (ИПХТ) и возможности комплекса экспериментальных установок «Расплав» (рисунок 1). Данный метод многократно использовался и хорошо зарекомендовал себя при проведении экспериментальных исследований процессов, относящихся к тяжелым авариям реакторов типа ВВЭР, PWR и BWR.

Список исследований (как российских, так и иностранных), посвященных поведению свинцового теплоносителя обширен. Однако, эти исследования, в подавляющем своем большинстве, касаются работы реакторов с теплоносителями такого типа в условиях нормальной эксплуатации. Имеется также значительное количество работ, касающихся расчётного и экспериментального исследования сценариев тяжелых аварий быстрых реакторов с жидкометаллическим теплоносителем. Однако работы, посвященные взаимодействию расплава свинца с топливом, сталью оболочек ТВЭЛов и корпусом в аварийных условиях, практически отсутствуют. В первую очередь это касается исследования проблем взаимодействия жидкометаллического теплоносителя с находящимся в процессе разработки нитридным топливом, предлагаемым для реактора БРЕСТ. Таким образом, исследование взаимодействия свинцового теплоносителя с указанными выше материалами (топливом, металлом оболочек ТВЭЛов и корпуса) в аварийных условиях представляется чрезвычайно актуальным.

В рамках проведения работ осуществлена разработка программы экспериментальных исследований процессов, протекающих при гипотетических авариях с расплавлением активной зоны реактора со свинцовым теплоносителем, с использованием метода индукционной плавки в холодном тигле.

Показано, что возможности комплекса экспериментальных установок «Расплав» позволяют реализовать разработанную программу (рисунок 2).

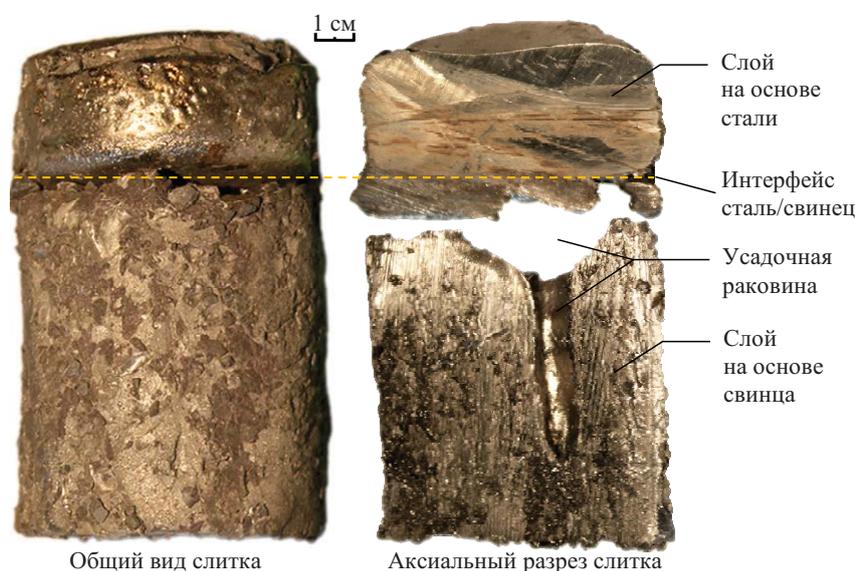
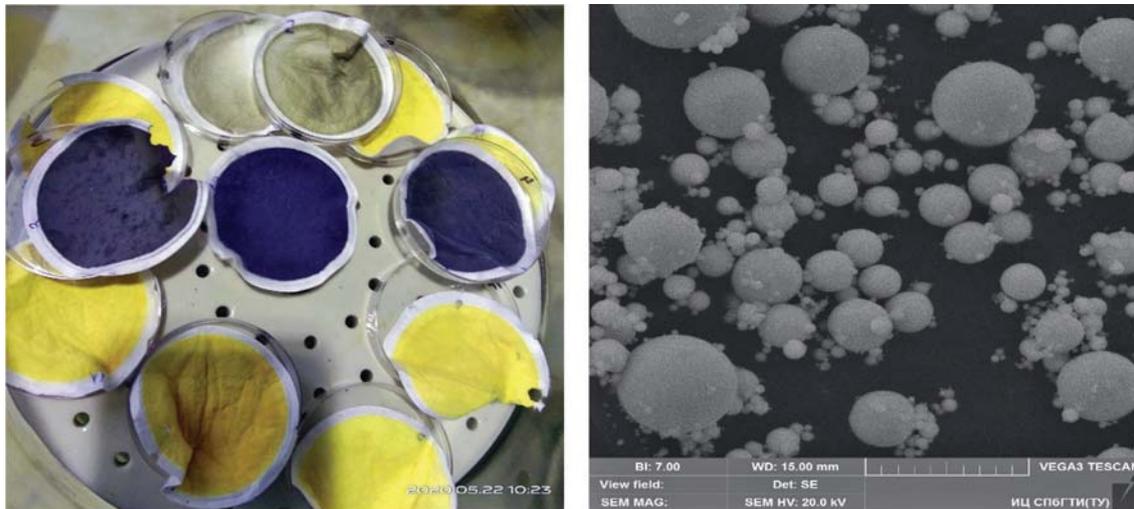


Рисунок 2 – Вид слитка, полученного в демонстрационном эксперименте по исследованию взаимодействия расплава теплоносителя с расплавом стали оболочек ТВЭЛов

Проведено четыре серии экспериментов, в рамках которых исследовано высокотемпературное взаимодействие теплоносителя со сталью оболочек ТВЭЛов, аэрозолеобразование расплава теплоносителя и системы «теплоноситель-сталь» в инертной и окислительной

атмосфере (Рисунок 3), устойчивость нитридного топлива в высокотемпературном расплаве системы «теплоноситель – сталь» в инертной атмосфере.



а)

б)

Рисунок 3 – Внешний вид и исследование собранных во время проведения экспериментов по исследованию аэрозолеобразования над расплавом теплоносителя аэрозолей:
а) вид аналитических фильтров с собранными аэрозолями; б) микрофотография аэрозолей, полученная методом сканирующей электронной микроскопии

Полученные экспериментальные данные могут быть использованы для расширения баз данных по высокотемпературным физико-химическим аспектам взаимодействия материалов активной зоны при гипотетической тяжелой аварии на реакторах со свинцовым теплоносителем и для валидации соответствующих тяжелоаварийных кодов.

Авторы благодарят за помощь в предоставлении аналитической базы при проведении пост-тестовых исследований инженеринговый центр СПбГТУ(ТИ) и лично его куратора к.т.н. Д.П. Даниловича.

Основные результаты работы докладывались:

по договору с АО «Радиовый институт им. В.Г. Хлопина» «Изготовление и пост-тест анализ образцов кориума прототипных внекорпусной стадии аварии на АЭС Фукусима-1»:

- на защите результатов первого этапа в рамках выполнения работ по теме «Вывод из эксплуатации и обращение с загрязненной водой (разработка технологий сбора данных и анализа свойств топливных осколков) (оценка свойств старения топливных осколков)», Токио – Москва – Санкт-Петербург – Дмитровград, 27 октября 2020 г.

по договору с Институтом безопасного развития атомной энергетики РАН «Проведение экспериментальных работ по исследованию взаимодействия материалов активной зоны при тяжелых авариях»:

- на заседании комиссии по приемке работ по теме «Проведение экспериментальных работ по исследованию взаимодействия материалов активной зоны при тяжелых авариях», Москва, ИБРАЭ РАН, 22 сентября 2020 г.

7



7. Разработка комплексных систем управления

В.Г. Михалицын

В 2020 году в рамках работ по учёту человеческого фактора при проектировании АЭС для реализации требования 32 IAEA SSR-2/1, в соответствии с NUREG-0711 Отделом главного конструктора автоматизированных систем управления технологическими процессами разработаны Программы проектирования с учётом человеческого фактора для проектируемых энергоблоков 3-4 АЭС Сюдату и энергоблоков 7-8 Тяньваньской АЭС (КНР). В соответствии с указанными Программами был разработан и передан заказчику ряд документов (Глава 18 ПООБ и технические отчёты), вошедших в пакет лицензионных документов указанных энергоблоков.

В рамках работ по функциональному проектированию АЭС «Ханикиви-1» разработана подробная методика сбора, анализа и применения опыта эксплуатации АЭС в части человеческого фактора. Анализ опыта эксплуатации определяет и оценивает проблемы учёта человеческого фактора в предыдущих проектах АЭС и в других отраслях промышленности, использующих современные цифровые технологии человеко-машинного интерфейса (ЧМИ).

Из других важных работ, выполненных сотрудниками ОГК АСУТП, следует отметить:

- актуализацию функционального анализа АЭС «Пакш II» (Венгрия) и АЭС «Эль-Дабаа» (Египет);
- выполнение работ по анализу и обоснованию учёта человеческого фактора при проектировании АЭС «Пакш II» (Венгрия);
- выполнение предварительного функционального анализа АЭС «Ханхикиви-1» на стадии 1 технического проекта АЭС.

7.1 Учёт человеческого фактора при проектировании АЭС

С.В. Батанина, М.С. Григорьев, Л.Е. Карпова, Ю.Н. Кудицкий,
Е.М. Лукьянов, К.А. Маслова, В.Г. Михалицын, А.И. Павлюк,
В.В. Рючин, И.Н. Сергеева, А.А. Сидорчук

В соответствии с требованием 32 IAEA SSR-2/1 [1] «Систематическое рассмотрение человеческих факторов, включая человеко-машинный интерфейс, должно быть включено в раннюю стадию процесса проектирования атомной электростанции и должно быть продолжено в течение всего процесса проектирования». Для реализации этого требования в проектах сооружения энергоблоков применяется Программа проектирования с учётом человеческого фактора (далее – Программа ПЧФ), которая реализуется в соответствии с требованиями NUREG-0711 rev.3 [2].

В 2020 году специалистами ОГК АСУТП ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» был разработан и передан заказчику комплект отчётных документов по учёту человеческого фактора для энергоблоков 3–4 АЭС Суйдапу и энергоблоков 7–8 Тяньваньской АЭС в КНР.

7.1.1 Цель и область распространения

Проектирование человеческого фактора (ЧФ) – это процесс проектирования, посредством которого факторы, которые могут воздействовать на деятельность человека (и это может повлиять на безопасность), рассматриваются и учитываются, в проекте и при эксплуатации установок. Цель Программы ПЧФ – обеспечить, чтобы вероятность и влияние ошибок персонала на безопасность АЭС в процессе функционирования АЭС были снижены настолько, насколько это разумно достижимо. УЧФ гарантирует, что проект станции, систем, оборудования, задач персонала и рабочей среды совместим с сенсорными, перцепционными, познавательными и физическими характеристиками персонала, который эксплуатирует, поддерживает и обслуживает АЭС или другую установку.

Программа ПЧФ распространяется на аспекты деятельности персонала АЭС, задействованного в перечисленных ниже пунктах и направлениях деятельности:

- блочный пункт управления (БПУ);
- резервный пункт управления (РПУ);
- местные пункты управления (МПУ);
- деятельность сменного персонала при техническом обслуживании и испытаниях систем и оборудования основного технологического процесса (ОТП) и систем безопасности.

Таким образом, Программа ПЧФ распространяется на деятельность сменного персонала АЭС, влияющую на главные цели эксплуатации АЭС [3]: обеспечение безопасности АЭС и обеспечение выработки электроэнергии (обеспечение надежности основного технологического процесса АЭС).

Программа ПЧФ для АЭС предусматривает выполнение следующих работ (элементов ПЧФ) в соответствии с NUREG-0711 rev.3 [2]:

- анализ:
 - анализ опыта эксплуатации АЭС;
 - анализ и распределение функций;
 - анализ задач;
 - анализ штата, организации и квалификации персонала;
 - анализ и учёт критически важных действий персонала;
- проектирование:
 - проектирование человеко-машинного интерфейса;
 - разработка инструкций (процедур);
 - разработка программ обучения персонала;
- другие элементы:
 - верификация и валидация результатов ПЧФ;
 - внедрение проекта ПЧФ;
 - мониторинг деятельности персонала.

Схематично последовательность работ представлена на рисунке.

Каждый значимый аспект, касающийся ПЧФ, идентифицируется и отслеживается в рамках работ по Программе ПЧФ.

К значимым аспектам ПЧФ относятся фиксируемые в рамках работ по элементам Программы ПЧФ:

- требования, которые должны быть исполнены и проверены;
- нерешенные вопросы по ПЧФ, которые должны быть решены;
- несоответствия, которые должны быть устранены или обоснованы.
- другие результаты работ по Программе ПЧФ, в том числе такие как:
 - задачи АЭС и их распределение;
 - функции пунктов управления и их характеристики;
 - задачи персонала и свойственные им характеристики.

В рамках работ по Программе ЧФ ведется единая база данных значимых аспектов ЧФ (далее – «БД аспектов ПЧФ»). Информация из указанной БД используется как исходная для выполнения работ по элементам Программы ПЧФ и для верификации и валидации результатов ПЧФ. В БД аспектов ПЧФ фиксируется вся информация, необходимая для идентификации аспектов ПЧФ, определения их содержания и отслеживания их статуса.

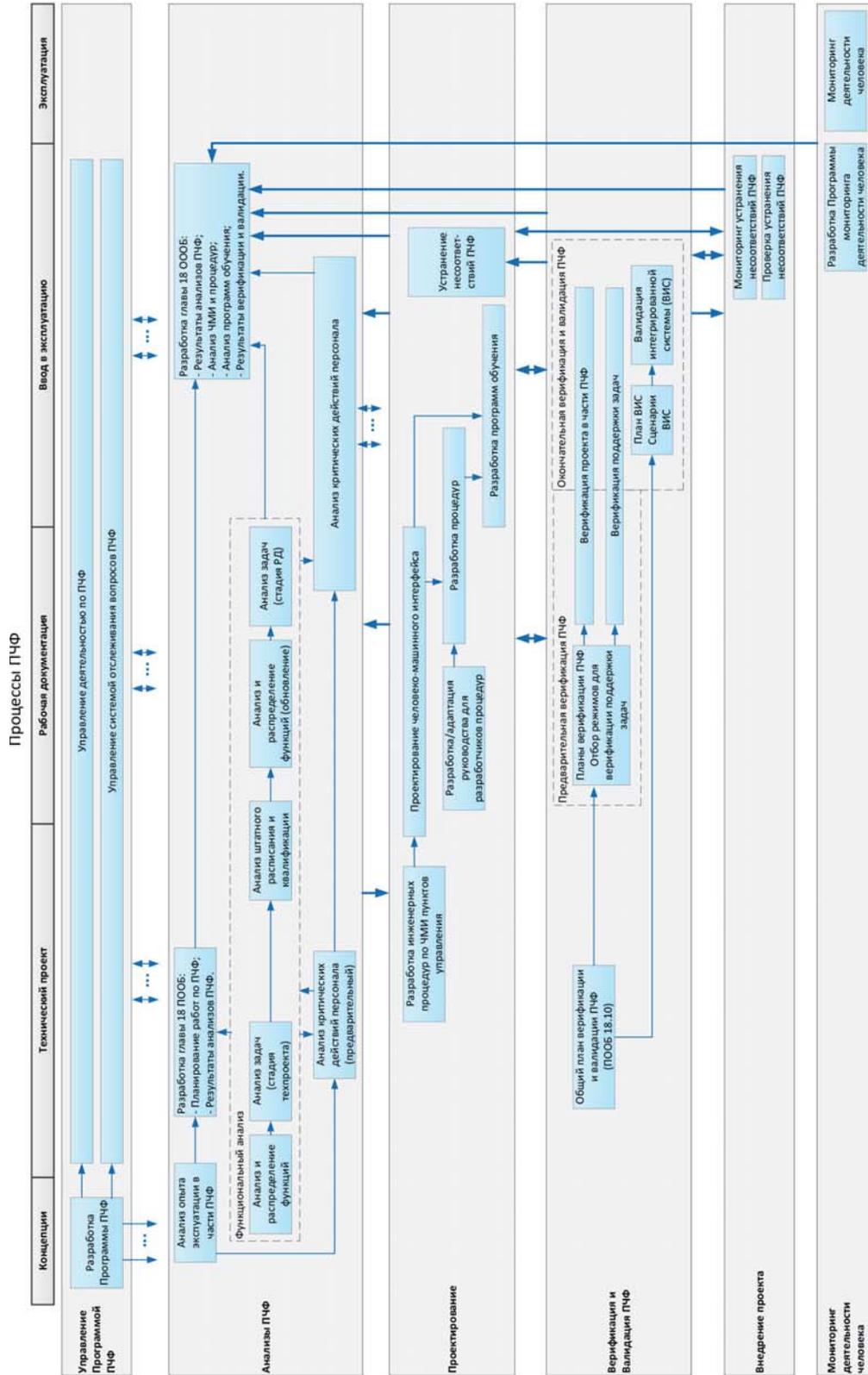


Рисунок – Схема процессов проектирования человеческого фактора

7.1.2 Команда по проектированию ЧФ и её организация

В команду по проектированию ЧФ входят:

- менеджер ПЧФ;
- эксплуатирующая организация;
- генеральный подрядчик;
- Генеральный проектировщик АЭС;
- проектировщик АСУТП;
- разработчик РУ;
- научный руководитель проектов АЭС с ВВЭР;
- эксперты по ЧМИ / ПЧФ;
- эксперты по вводу АЭС в эксплуатацию;
- эксперты по управлению АЭС.

Для энергоблоков 3–4 АЭС Сюйдапу и энергоблоков 7–8 Тяньваньской АЭС (Китай) ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» выполнял роль Менеджера ПЧФ.

В команду ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» включены:

- проектанты с опытом проектирования референтных АЭС (Ленинградская АЭС 2 блоки № 1–2, Тяньваньская АЭС блоки № 1–4) в части технологических систем и оборудования РУ, ТУ, вспомогательных систем, СКУ, ЧМИ пунктов управления;
- эксперты по управлению ЯЭУ с опытом оперативной работы;
- специалисты по эргономике и ЧМИ с опытом эргономического анализа и/или разработки ЧМИ пунктов управления.

7.1.3 Программа работ по проектированию ЧФ

Мероприятия по Программе ПЧФ реализуются поэтапно согласно стадиям процесса разработки основных систем и процессов, относящихся к области применения Программы ПЧФ, в соответствии с требованиями NUREG-0711 rev.3 [2].

Анализ опыта эксплуатации

Анализ опыта эксплуатации в части учёта ЧФ выполняется:

- по периодическим отчетам по эксплуатации российских АЭС и референтных АЭС;
- по относящейся к человеческому фактору информации о референтных АЭС;
- по общеизвестным проблемам учёта ЧФ в промышленности.

В качестве референтных АЭС рассматриваются следующие станции:

- Ленинградская АЭС-2, блоки № 1–2;
- Тяньваньская АЭС, блоки № 3–4.

В рамках анализа опыта эксплуатации на стадии Предварительного отчета по обоснованию безопасности (ПООБ) рассмотрены следующие основные вопросы:

- распределение функций и задач между человеком и машиной, между пунктами управления, между персоналом;

7. Разработка комплексных систем управления

- достоинства и недостатки пунктов управления, систем и устройств человеко-машинного интерфейса;
- проблемные задачи и операции;
- ошибки персонала и критически важные действия персонала;
- недостатки квалификации персонала, приведшие к нарушениям.

Результаты анализа опыта эксплуатации применяются при проектировании ЧМИ, разработке процедур, разработке программ обучения персонала.

Анализ и распределение функций

Анализ функций предусматривает определение функций управления и контроля, которые должны быть выполнены для достижения целей эксплуатации и обеспечения безопасности АЭС на каждом из уровней глубокоэшелонированной защиты.

В рамках распределения функций между «человеком» (операторами пунктов управления) и «машиной» (системой контроля и управления) определяются возможные и необходимые автоматические функции управления, которые должны быть выполнены для реализации технологических функций АЭС с требуемыми показателями.

Анализ распространяется на технологические функции, которые обеспечивают достижение следующих главных целей эксплуатации АЭС [3]:

- обеспечение эффективной выработки электроэнергии;
- обеспечение безопасности.

При анализе и распределении функций в качестве основы используется иерархическая схема функционального деления технологического процесса АЭС.

Анализ и распределение функций выполняется в 3 этапа [4]:

Этап 1:

- определение технологических функций АЭС во всех режимах АЭС;
- анализ функций управления и контроля, выполняемых при реализации технологических функций во всех режимах АЭС;
- определение параметров, характеризующих технологические функции: параметров, которые означают, что технологическая функция выполняется, и параметров, которые означают, что технологическая функция при нормальной эксплуатации (НЭ) может быть или должна быть ограничена (завершена).

Этап 2:

- распределение автоматических и ручных функций управления и контроля для решения эксплуатационных задач;
- определение требований к информации и управлению для включения в технические требования к ЧМИ.

Этап 3: Периодический возврат к анализу для:

- уточнения функций и их распределения на стадиях разработки рабочей документации (РД) АЭС, поставки и ввода в эксплуатацию оборудования и систем АЭС;
- уточнения в распределении функций между оперативным персоналом для решения задач в соответствующих состояниях и режимах АЭС, включая аварии.

Результаты анализа и распределения функций используются в других направлениях деятельности по проектированию человеческого фактора, таких как: анализ задач операторов, квалификация персонала, проектирование ЧМИ пунктов управления, разработка процедур, разработка программ обучения.

Анализ задач

Анализ задач – это исследование решаемых персоналом задач с целью:

- оценки нагрузки на персонал;
- определения сложных задач – задач с высоким риском ошибок персонала;
- определения требований по обеспечению персонала средствами управления, информацией и средствами поддержки для успешного решения назначенных ему задач.

По результатам анализа задач может уточняться распределение задач между персоналом пунктов управления.

В ходе анализа определяются и анализируются операции, которые персонал должен выполнить для реализации распределенных ему технологических задач.

Анализ задач охватывает задачи, влияющие на безопасность АЭС и/или на основной технологический процесс АЭС, решаемые персоналом пунктов управления для достижения главных целей АЭС в состояниях НЭ, при нарушениях НЭ и при авариях.

Анализ задач определяет:

- базу для принятия решений при проектировании технических систем, программного обеспечения и определения требований к персоналу постов и пунктов управления;
- требования к работе (показателям) оператора с учётом его возможностей.

Анализ задач, решаемых персоналом, выполняется на стадиях технического проектирования, в процессе верификации и валидации человеческого фактора и на стадии ввода АЭС в эксплуатацию.

В рамках анализа задач на стадии разработки проекта АЭС:

- определены характеристики задач;
- определены характеристики рабочей нагрузки на персонал (информационная, физическая, интеллектуальная – уровень трудности);
- проанализированы факторы организации рабочих мест персонала;
- определена необходимая укомплектованность персоналом.

В рамках анализа задач на стадии ввода в эксплуатацию АЭС предполагается:

- уточнение характеристик задач;
- уточнение характеристик рабочей нагрузки на персонал;
- уточнение факторов организации рабочих мест персонала.

Анализ задач на стадии ввода в эксплуатацию АЭС выполняется на основании результатов разработки, поставки и наладки оборудования ЧМИ, составления эксплуатационных процедур, комплектования и обучения персонала и используется для корректировки ЧМИ, инструкций и программ обучения (при необходимости).

Укомплектование штата, организация и квалификация персонала

Основная цель работ по данному элементу Программы учёта ЧФ – обосновать, что АЭС может безопасно эксплуатироваться с предварительно определенным штатным расписанием персонала во всех проектных состояниях и режимах АЭС с минимальным риском ошибочных действий по причине перегрузки персонала.

Обоснование выполняется на стадиях проектирования АЭС и на стадии ввода АЭС в эксплуатацию.

Выполнение работ основывается на результатах анализа и распределения функций, анализа задач персонала.

Анализ и учёт критически важных действий персонала

Основная цель работ по данному элементу Программы учёта ЧФ – обеспечить, чтобы все действия персонала, важные для безопасности и/или важные для поддержания ОТП, были идентифицированы, и в проекте были предусмотрены решения для исключения ошибок персонала, возможных при выполнении таких действий.

На стадии проекта выполняются:

- отбор и идентификация критически важных действий операторов пунктов управления;
- анализ критически важных действий операторов;
- определение проектных мер для исключения ошибок операторов при выполнении критически важных действий.

На стадии ввода в эксплуатацию предполагается:

- уточнение состава и характеристик критически важных действий персонала на основании результатов разработки РД АЭС и изменений, внесенных в проект при разработке РД;
- анализ влияния на надёжность действий оператора процедур АЭС, их структуры и организации представления оператору;
- анализ критических важных действий персонала при техническом обслуживании, ремонте оборудования;
- проверка реализации в проекте мер для исключения ошибок персонала при выполнении критически важных действий.

По результатам анализа критически важных действий персонала выполняется:

- определение необходимых проектных мер поддержки для предупреждения (исключения) ошибок персонала, возможных при выполнении критически важных действий;
- определение дополнительных требований к средствам автоматизации, средствам поддержки персонала и средствам ЧМИ для повышения безошибочности действий персонала.

Проектирование человеко-машинного интерфейса

Проектирование ЧМИ выполняется на основе концептуальных проектных решений по безопасности АЭС, по управлению технологическими процессами АЭС, результатов Функционального анализа (анализа и распределения функций АЭС, анализа задач операторов пунктов управления).

Рассматриваются следующие компоненты:

- все виды и компоненты ЧМИ, влияющие на безопасность или на основной технологический процесс;
- компоновка пунктов управления;
- условия обитаемости пунктов управления;
- проектирование представления параметров безопасности;
- средства сигнализации и управления сигнализацией.

На стадии технического проекта выполнены:

- формирование функциональных и нефункциональных требований к средствам ЧМИ – требований, касающихся учёта ЧФ;
- проверка наличия и достаточности требований по учёту ЧФ в руководствах и процедурах, регламентирующих проектирование ЧМИ пунктов управления.

На стадии рабочей документации предусматривается выполнение следующих работ по учёту ЧФ, касающихся проверки результатов проектирования ЧМИ:

- анализ компоновочных решений по средствам ЧМИ:
 - зоны управления и контроля на БПУ и РПУ для оперативного персонала;
 - компоновка БПУ и РПУ (размещение и компоновка автоматизированных рабочих мест и панелей для персонала БПУ и РПУ);
 - состав, назначение и методы компоновки панелей БПУ, РПУ;
 - компоновка местных пунктов управления (размещение и компоновка автоматизированных рабочих мест и панелей для персонала).
- анализ унификации средств информации и устройств управления, таких как форматы видеокадров, символы, обмена информацией, методы навигации и ввода информации;
- анализ характеристик ЧМИ:
 - анализ совместимости ЧМИ с антропометрическими характеристиками персонала АЭС;
 - анализ разделения первичных и вторичных эксплуатационных задач;
 - анализ организации покидания БПУ и перехода на РПУ, перевода управления и включения в работу персонала без потери информации и без помех.

Разработка процедур

В рамках проектирования АЭС определяются требования по следующим аспектам разработки процедур:

- типы и состав процедур с учётом решений по ЧМИ;
- способы представления процедур персоналу в зависимости от состояния и режима АЭС;
- критерии принятия решений в процедурах по управлению технологическими процессами АЭС;

- учёт ЧФ в соответствии со спецификой технологической системы, оборудования;
- учёт в процедурах требований к техническому обслуживанию, диагностике состояния и ремонтам.

На стадии технического проектирования предусматривается анализ процессов разработки процедур, анализ содержания и доступности к применению аналогичных инструкций референтных АЭС с учётом отличия проектируемых энергоблоков.

По результатам анализа определяются необходимые требования к изменениям в процессах разработки процедур, в содержании и обеспечении доступности процедур.

На стадии ввода в эксплуатацию предусматривается анализ содержания и доступности к применению процедур, разработанных для АЭС по аспектам учёта ЧФ.

Разработка программ обучения персонала

В рамках работ по Программе учёта ЧФ рассматриваются процессы и результаты разработки программ обучения оперативного сменного персонала АЭС (далее – «программ обучения»).

Разработка программ обучения выполняется с учётом следующих исходных данных, формируемых в рамках Программы учёта ЧФ:

- результатов анализа и распределения функций;
- результатов анализа задач персонала;
- требований к персоналу, формируемых в рамках выполнения Функционального анализа (анализа и распределения функций, анализа задач операторов);
- результатов анализа критически важных действий персонала.

На стадии проектирования предусматривается анализ учёта ЧФ в процессах разработки и в содержании программ обучения для референтных АЭС с учётом отличий проектируемых энергоблоков от референтных АЭС.

По результатам анализа определяются необходимые требования к изменениям в процессах разработки и в содержании программ обучения. Указанные требования должны учитываться при разработке программ обучения для АЭС с целью учёта ЧФ.

На стадии ввода в эксплуатацию предусматривается:

- анализ организации разработки программ обучения на соответствие требованиям по учёту ЧФ;
- анализ состава и содержания программ обучения на соответствие результатам работ по другим элементам Программы ЧФ.

Верификация и валидация проектирования человеческого фактора

При верификации и валидации учёта ЧФ рассматриваются человеко-машинные интерфейсы, применяемые персоналом пунктов управления для задач управления и контроля в следующих состояниях и режимах эксплуатации АЭС:

- все состояния НЭ, существенные для надёжной выработки электроэнергии или для обеспечения безопасности АЭС;
- нарушения НЭ (ожидаемые эксплуатационные отклонения);
- проектные аварии;

- режимы расширенного проектирования;
- тяжёлые аварии.

В состав основных работ по верификации и валидации входят (см. таблицу):

- верификация проекта в части ПЧФ;
- верификация поддержки задач персонала;
- валидация пункта управления, как интегрированной системы.

Таблица

Основные работы и задачи верификации и валидации ПЧФ

Основные работы верификации и валидации ПЧФ	Задачи верификации и валидации по стадиям сооружения АЭС		
	Технический проект	Рабочая документация	Ввод в эксплуатацию
Верификация проекта в части ПЧФ	Проверка соблюдения требований ПЧФ в процедурах проектирования ЧМИ пунктов управления	Проверка соблюдения требований ПЧФ в проекте ЧМИ. Проверка соблюдения требований ПЧФ в руководствах по разработке инструкций. Проверка соблюдения требований ПЧФ в проекте пунктов управления	Верификация реализации ЧМИ. Верификация инструкций
Верификация поддержки задач персонала	–	Верификация поддержки задач в проекте ЧМИ пункта управления	Верификация поддержки задач персонала в реализованном ЧМИ пункта управления. Верификация поддержки задач персонала в оперативных инструкциях пункта управления, при разработке программ обучения
Валидация пункта управления, как интегрированной системы	–	–	Проверка выполнения требований по учёту ЧФ к персоналу пункта управления, в реализованных ЧМИ, инструкциях, программах обучения. Валидация интегрированной системы пункта управления (включая технические средства, программные средства, персонал, инструкции) по выбранным сценариям на ПМТ и на пункте управления

По результатам выполнения проверок производится определение и идентификация несоответствий, оформляются протоколы верификации/валидации. Идентифицированные несоответствия подробно рассматриваются и тщательно документируются для дальнейшего устранения.

После устранения несоответствий соответствующие проверки выполняются повторно в необходимом объёме.

Внедрение проекта ПЧФ

Целью работ по элементу «Внедрение проекта ПЧФ» является обеспечение того, чтобы все проектные решения по учёту ЧФ были реализованы на АЭС в процессе ввода в эксплуатацию.

Работы по элементу «Внедрение проекта ПЧФ» выполняются на стадии ввода в эксплуатацию АЭС.

В рамках работ по элементу выполняется:

- проверка завершенности процессов верификации и валидации результатов ПЧФ;
- учёт решений по вопросам, занесённым в систему отслеживания аспектов по учёту ЧФ;
- оценка реализации аспектов ПЧФ, для которых не проводятся проверки в рамках верификации и валидации учёта ЧФ;
- проверка устранения или обоснования всех несоответствий, выявленных в процессе выполнения верификации и валидации учёта ЧФ в ЧМИ;
- проверка соответствия решениям по учёту ЧФ всех относящихся к Программе учёта ЧФ и реализованных на АЭС ЧМИ, процедур, документов по обучению, не подвергавшихся проверкам в рамках валидации интегрированной системы ЧМИ;
- регистрация того, как реализован учёт ЧФ по каждому из критически важных действий персонала с указанием соответствующих решений по всем элементам Программы учёта ЧФ.

Проверки и оценки выполняются по согласованной и утвержденной документации:

- по протоколам и другим документам выполнения верификации и валидации;
- по эксплуатационной документации и испытательной документации систем ЧМИ;
- по процедурам;
- по программам обучения.

Результаты работ по элементу «Внедрение проекта» Программы учёта ЧФ представляются на стадии ОООб в Главе 18.

Мониторинг деятельности персонала

Мониторинг деятельности персонала распространяется на деятельность персонала АЭС, которая непосредственно влияет на ядерную безопасность станции и/или непосредственно влияет на основной технологический процесс АЭС. Мониторинг деятельности персонала выполняет Эксплуатирующая организация.

Целями мониторинга деятельности персонала являются:

- выявление несоответствий в части учёта ЧФ и формирование необходимых мер по поддержанию надёжности персонала в процессе эксплуатации АЭС;
- исключение негативного влияния на надёжность персонала изменений (модификаций), вносимых в процессе эксплуатации АЭС.

На стадии проектирования определены:

- принципы, применяемые при разработке программы мониторинга деятельности персонала;
- общие требования к программе мониторинга деятельности персонала.

На стадии ввода в эксплуатацию разрабатывается детальная программа мониторинга деятельности персонала, обеспечивающая достижение объявленных целей с учётом установленных требований и принципов.

Заключение

Для китайских АЭС на стадии технического проекта и ПООБ выполнен полный объём работ по УЧФ в соответствии с IAEA SSR-2/1 [1] и NUREG-0711 rev.3 [2].

Документы по учёту ЧФ рассмотрены и согласованы Инозаказчиком. ПООБ в настоящее время проходит рассмотрение в Надзорном органе КНР (NNSA).

Литература

1. IAEA SSR-2/1 Безопасность атомных станций: проектирование
2. NUREG-0711, Human Factors Engineering Program Review Model, NRC, Revision 3
3. IEC 60964: Nuclear Power Plants – Control Rooms – Design (International Electrochemical Commission, 2009)
4. IEC 61839:2000 Nuclear power plants. Design of control rooms. Functional analysis and assignment.

7.2 Разработка детальной методики обзора и применения опыта эксплуатации АЭС в части человеческого фактора для проекта сооружения АЭС «Ханикиви-1»

С.В. Батанина, М.С. Григорьев, Ю.Н. Кудицкий,
К.А. Маслова, В.Г. Михалицын

ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» является Менеджером по учёту человеческого фактора и отвечает за управление программой проектирования человеческого фактора (ПЧФ) для стадий концептуального и технического проекта АЭС «Ханхикиви-1». В функции Менеджера по ПЧФ входит: разработка графиков, планов и процедур ПЧФ, координация работ, рассмотрение документов и выполнение оценки проектных решений, выполнение анализов, проектирование, верификация и валидация, а также назначение, отслеживание и принятие решения по каждой проблеме, зарегистрированной в системе отслеживания проблем ПЧФ.

Одним из первых документов, необходимых для функционального проектирования с учётом человеческого фактора, является обзор опыта эксплуатации референтных АЭС. Обзор опыта эксплуатации определяет и оценивает проблемы учёта человеческого фактора в предыдущих проектах АЭС и в других отраслях промышленности, использующих современные цифровые технологии человеко-машинного интерфейса (ЧМИ). В 2020 году ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» был разработан План внедрения для выполнения обзора опыта эксплуатации, который определяет область применения, методологию выполнения, выходные данные и квалификацию персонала, выполняющего анализ.

7.2.1 Методология обзора опыта эксплуатации

Обзор опыта эксплуатации (Operational Experience Review, OER) – это обзор предыдущих проектов, подобных новому для того, чтобы определить, проанализировать и решить проблемы, связанные с ПЧФ и гарантировать предотвращение любых негативных особенностей, связанных с референтными проектами в текущем проекте, сохраняя при этом положительные черты [1].

Главная цель OER состоит в оценке опыта эксплуатации, обслуживания, тестирования, проектирования и строительства, чтобы определить исторические проблемы, связанные с ПЧФ, и ввести эту информацию в процесс проектирования АЭС.

OER выполняется в соответствии с NUREG-0711, рев. 3 [1] следующим образом:

- определяются источники информации об опыте эксплуатации ядерных и неядерных объектов, которые будут оцениваться;
- выбирается информация, применимая к проектированию ЧФ (именуемая в дальнейшем «результаты опыта эксплуатации»);
- результаты опыта эксплуатации классифицируются по важности и группируются с другими подобными результатами опыта эксплуатации;
- разрабатываются выводы по одиночным или сгруппированным результатам опыта эксплуатации. Выводы объединяются как проблемы ПЧФ в системе отслеживания проблем (Issues Tracking System, ITS), которая разрабатывается в соответствии с Планом Программы ПЧФ (HFE PP) [2];
- проверяются результаты опыта эксплуатации (связанные с критически важными действиями персонала), определенные в анализе надежности персонала (HRA) и подтверждающие, что вероятностный анализ безопасности (PRA) рассмотрел возможность ошибок персонала, включая проблематичные операции и задачи, для действий персонала предшествующих или референтных станций, которые подобны критически важным действиям персонала АЭС «Ханхикиви-1».

В соответствии HFE PP [2], применимые методы OER включают:

- обзор документов;
- интервью персонала.

Сводный отчет по результатам выполняется для документирования результатов и включает следующее:

- как проводится обзор опыта эксплуатации;
- результаты обзора опыта эксплуатации, включая результаты интервью;
- число и статус любых открытых OER-связанных проблем ПЧФ, которые отслеживаются в ITS.

Если информация, представленная в сводном отчете, отличается от информации, описанной в Плана внедрения обзора опыта эксплуатации, то различия должны быть идентифицированы, и обоснования этих различий должны быть описаны в сводном отчете по результатам.

Результаты OER оцениваются в последующих элементах Программы ПЧФ [2]:

- анализ и распределение функций;
- анализ задач операторов;
- обработка критически важных действий персонала;
- анализ укомплектования штата и квалификаций;
- проектирование ЧМИ;
- разработка процедуры;
- разработка программы подготовки персонала;
- верификация и валидация ЧФ.

7.2.2 Источники данных об опыте эксплуатации

Предшествующие или референтные станции и системы

Рассматриваются опыт эксплуатации как минимум следующих предшествующих / референтных АЭС:

- Тяньваньская АЭС (ТАЭС), ВВЭР-1000 Блоки 1–4;
- Ленинградская АЭС-2 (ЛАЭС-2), ВВЭР-1200 Блок 1.

Применимость опыта эксплуатации предшествующих или референтных АЭС для АЭС «Ханхикиви-1» приведена в таблице 1.

Таблица 1

Применимость опыта эксплуатации предшествующих / референтных АЭС для АЭС «Ханхикиви-1»

Область применения	ТАЭС блоки 1–2	ТАЭС блоки 3–4	ЛАЭС-2	АЭС «Ханхикиви-1»
Стандарт	IEC 60964 (применяется частично)	NUREG 0711, рев. 3	IEC 60964	NUREG 0711, рев. 3
Пункт управления	На основе цифрового отображения			
Система процедур	На бумажной основе			На цифровой основе
СКУ систем НЭ	OM 650	OM 690	Российская SCADA система	OM 690
СКУ систем безопасности	TELEPERM XS			
Команда по управлению	23 человека в смене	23 человека в смене	29+3 человека в смене	6 человек в смене (по требованию)

Обзор опыта эксплуатации предшествующих / референтных АЭС и систем выполняется для следующих элементов ПЧФ АЭС «Ханхикиви-1»:

- Ленинградская АЭС-2 Блок 1: анализ функции и распределение функции (уровень автоматизации), задачи операторов, критически важные действия персонала, проектирование оборудования ЧМИ, процедуры, программы обучения;
- ТАЭС Блоки 3–4: критически важные действия персонала, проектирование оборудования ЧМИ, процедуры, верификация и валидация ЧФ;
- ТАЭС Блоки 1–2: проектирование оборудования ЧМИ, процедуры, верификация и валидация пунктов управления.

Международные источники данных об опыте эксплуатации атомной промышленности

Обзор опыта эксплуатации включает информацию из следующих источников опыта эксплуатации международных АЭС с реакторами с водой под давлением:

- общепринятые проблемы атомной промышленности, связанные с ПЧФ:
 - любые соответствующие письма STUK и информационные уведомления;
 - отчеты о событиях, полученные от действующих АЭС Финляндии, предоставленные Владелец АЭС «Ханхикиви-1»;
 - технические отчеты по анализу опыта эксплуатации, обслуживания, ремонта и капитального ремонта АЭС с ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200;
 - годовые отчеты по оценке состояния безопасной работы атомных электростанций АО «Концерн Росэнергоатом»;
 - отчеты о значительном опыте эксплуатации АЭС и отчеты о значительных событиях от Мировой Ассоциации Ядерных Операторов (WANO) и подробная информация об особых событиях из базы данных WANO/NUREG/CR-6400 («Понимание проектирования с учётом человеческого фактора современных реакторов, базирующееся на опыте эксплуатации», 1997);
 - IEEE 1023-2004, «Практика, рекомендуемая Институтом инженеров электротехники и электроники (IEEE), для применения проектирования с учётом человеческого фактора к системам, оборудованию и установкам атомных электростанций и других ядерных установок»;
 - IAEA-TECDOC-1058 «Практический опыт разработки и использования процедур атомной электростанции», 1998;
 - NUREG-0933, «Решение общих проблем безопасности», 2011;
 - NUREG-1275, том 11 «Отчет об обратной связи по опыту эксплуатации – системы защиты турбогенератора от превышения скорости», 1995;
 - NUREG-1275, том 12 «Отчет об обратной связи по опыту эксплуатации – Оценка охлаждения отработавшего топлива», 1997;
 - NUREG-1275, том 14 «Причины и значимость проектных проблем на атомных электростанциях США», 2000;
 - NUREG-0696 «Функциональные критерии для объектов реагирования на чрезвычайные ситуации», 1981;

- технологии, связанные с ЧМИ:
 - NUREG-0700, рев. 2 «Руководства по анализу проектирования человеко-машинного интерфейса», 2002;
 - IAEA-TECDOC-812 «Проектирование систем пунктов управления для атомных электростанций», 1995;
 - интервью операторов предшествующих / референтных АЭС;
 - IFE/HR/F-2014/1616 «Человеческо-машинные интерфейсы: методы наиболее успешного применения на практике для скандинавских атомных электростанций», 2014-12-05;
 - INL/EXT-12-26787 «Применение Руководства по проектированию и оценке человеческих факторов для Цифровой системы управления атомной электростанцией», ревизия 0, август 2012;
 - HAMMLAB публикации лаборатории IFE (<https://ife.no/en/laboratory/hammlab/>).

Интервью операторов

В качестве источника информации об опыте эксплуатации используются следующие интервью операторов:

- интервью начальников смен, операторов и инструкторов ТАЭС, проведенные в 2016 году в рамках подготовки к верификации и валидации;
- интервью операторов, начальников смен, персонала аварийного центра и инструкторов ЛАЭС-2 блока 1, проведенные в 2019 году в рамках анализа удобства в эксплуатации ЧМИ БПУ.

Интервью берут у следующего персонала предшествующих/референтных АЭС, как у потенциального источника информации об опыте эксплуатации:

- у операторов пункта управления;
- у инструкторов по подготовки персонала;
- у операторов аварийных событий (например, начальник смены, персонал центра аварийного реагирования).

Интервью включают вопросы относительно:

- нормальной эксплуатации станции;
- ухудшения состояния ресурсов ЧМИ (например, потеря управления с АРМ (мониторов), и т.д.);
- нарушения нормальной эксплуатации;
- аварий (проектные, тяжелые и режимы расширенного проектирования);
- смягчения последствий радиационного воздействия посредством чрезвычайных мер в случаях выброса радиоактивных веществ в окружающую среду.

Интервью также содержат вопросы по следующим темам:

- сигнализация;
- отображение;
- средства управления и автоматизации;
- обработка информации и вспомогательные средства;

7. Разработка комплексных систем управления

- связи в реальном времени с персоналом станции и другими организациями;
- процедуры, обучение, укомплектование персоналом и квалификация, разработка должностных инструкций;
- условия окружающей среды на рабочем месте.

Опыт эксплуатации неядерных объектов

Рассматривается опыт эксплуатации деятельности персонала в неатомном промышленном применении, где используется дисплейный ЧМИ. Обзор ограничивается проблемами ЧМИ, связанными с проблемами ПЧФ. Рассматриваются источники из следующих отраслей промышленности, как минимум:

- химическая промышленность – американский Химический Совет по Безопасности;
- ядерная промышленность – Совет по Безопасности Ядерных установок;
- транспортная промышленность (морская, трубопроводы, железная дорога, авиация) – американский Национальный совет по безопасности транспорта, Сеть Безопасности полетов, Межгосударственный Комитет по Авиации.

Данные источники представляют широкую область отраслей промышленности, которые используют цифровую технологию ЧМИ.

Обзор, анализ и документирование опыта эксплуатации

Результаты опыта эксплуатации документируются, группируются и классифицируются.

Процесс документирования опыта эксплуатации

Блок-схема, показывающая последовательность действий для обзора опыта эксплуатации, представлена на рисунке.

Опыт эксплуатации рассмотрен на применимость к проекту АЭС «Ханхикиви-1», используя следующие вопросы:

1. Относится ли опыт эксплуатации к атомной промышленности и применим или имеет отношение к ВВЭР или к Реактору с водой под давлением, или опыт эксплуатации относится к неатомной промышленности и применим к технологии ЧМИ, которая планировалась для использования в проекте АЭС «Ханхикиви-1».
2. Опыт эксплуатации относится к человеческому фактору? Отношение к деятельности персонала определяется на основе критериев выбора требований ПЧФ, описанных в Главе 8 документа «План качества ПЧФ» [3].
3. Относится ли опыт эксплуатации деятельности персонала к функциям, представленным в проекте АЭС «Ханхикиви-1», независимо от типа реактора? Опыты эксплуатации в других типах ядерных реакторов может иметь отношение к реакторам с водой под давлением.
4. Опыт эксплуатации, связанный с эксплуатационными подходами и уровнем автоматизации или технологией ЧМИ, планировался для использования в проекте АЭС «Ханхикиви-1».

Кроме того, существуют две проблемы, которые считаются потенциально значимыми человеческими факторами:

- технологические процессы станции с ожидаемыми отличиями в эксплуатации между проектами ЛАЭС-2 блок 1 и АЭС «Ханхикиви-1», которые происходят из-за различий в функциях или в оборудовании, выполняющем эти функции.

Эти отличия частично имеют место, если они включают в себя критически важные действия персонала;

- изменения и отличия в уровне автоматизации между проектами ЛАЭС-2 блок 1 и АЭС «Ханхикиви-1».

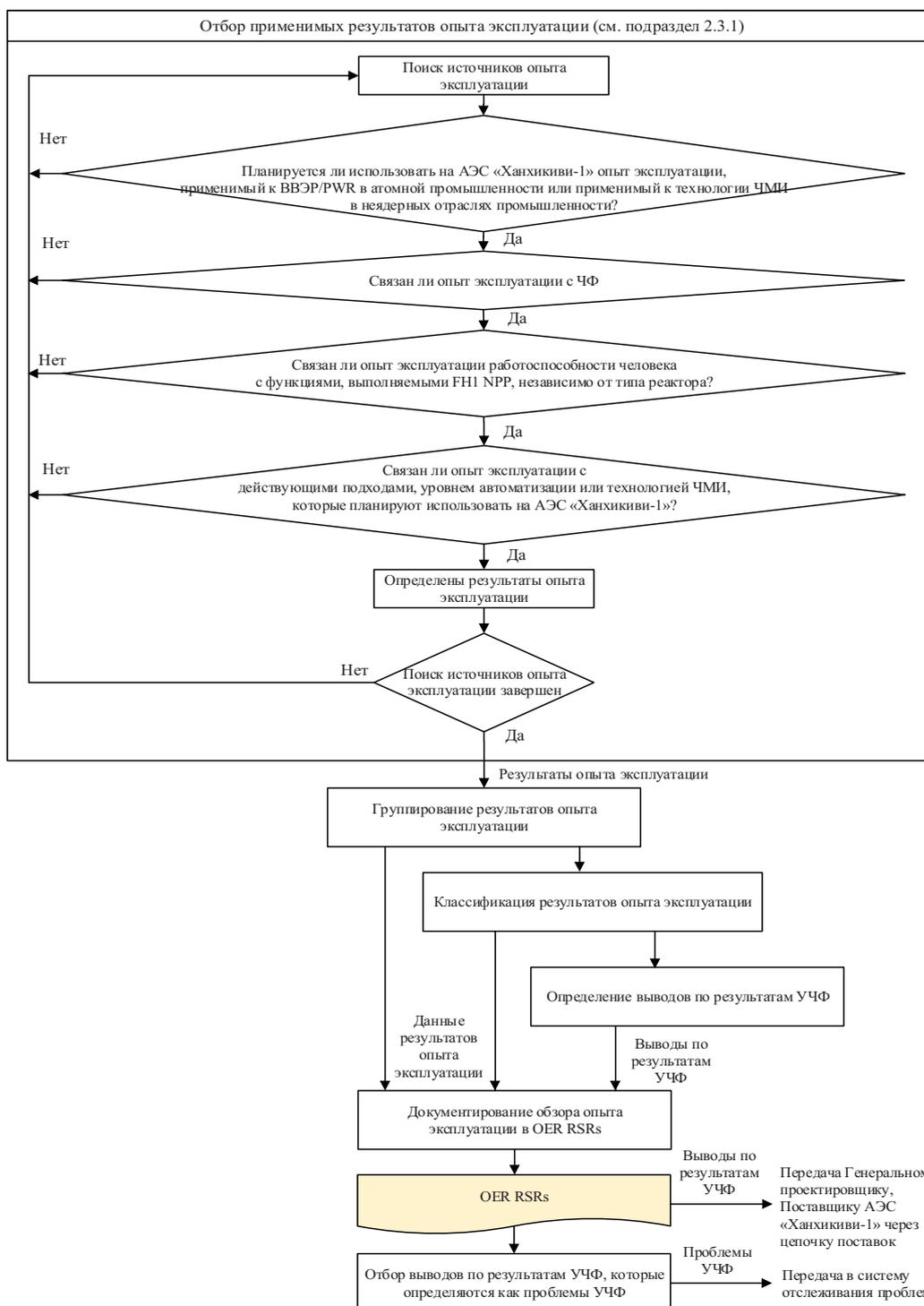


Рисунок – Блок-схема действий обзора опыта эксплуатации

Группирование результатов опыта эксплуатации

Результаты опыта эксплуатации группируются согласно категориям опыта эксплуатации, которые соответствуют четырем главным средствам поддержки задач:

- ЧМИ;
- процедурам (включая административные процедуры);
- обучению (включая периодическую переквалификацию);
- укомплектованию персонала (включая роли и предписанное взаимодействие).

Группирование результатов опытов эксплуатации помогает команде ПЧФ понять их сходства и различия, что важно при написании выводов по ПЧФ. Результаты опыта эксплуатации группируются на основе технической экспертизы. Сгруппированные результаты опыта эксплуатации рассматриваются и утверждаются командой ПЧФ в рамках обзора и утверждения сводных отчетов по результатам обзора опыта эксплуатации.

Определенные результаты опытов эксплуатации могут принадлежать одной или более категориям. Например, если определенный результат опыта эксплуатации будет связан с ЧМИ и процедурами, которые поддерживают (или недостаточно поддерживают) соответствующие задачи персонала, то этот результат должен быть включен в обе группы («ЧМИ» и «Процедуры»).

Классификация результатов опыта эксплуатации

Результаты опыта эксплуатации, которые были определены как применимые к проекту АЭС «Ханхикиви-1» классифицируются следующим образом:

- **Категория 1** (высокий приоритет). Результаты опыта эксплуатации содержат информацию, связанную с деятельностью, которая может повлиять на цели безопасности АЭС. Результаты опыта эксплуатации, отнесенные к Категории 1, рассматриваются при проектировании, чтобы гарантировать, что деятельность человека не угрожает безопасности АЭС и отслеживается посредством решения. Решение рассматривается во время верификации человеческого фактора.
- **Категория 2** (средний приоритет). Результаты опыта эксплуатации напрямую не влияют на цели безопасности АЭС, но содержат информацию, связанную с деятельностью, которая может существенно повлиять на цель готовности АЭС. Результаты опыта эксплуатации, отнесенные к Категории 2, рассматриваются при проектировании, чтобы гарантировать, что человеческая деятельность не ставит под угрозу готовность АЭС и отслеживается посредством решения. Решение рассматривается во время верификации человеческого фактора.
- **Категория 3** (низкий приоритет). Результаты опыта эксплуатации напрямую не влияют на цели безопасности АЭС, но могут незначительно повлиять на цель обеспечения готовности АЭС. Результаты опыта эксплуатации Категории 3 рассматриваются с целью улучшения показателей деятельности персонала и во избежание кумулятивного эффекта проблем. Команда ПЧФ отслеживает решения по результатам опыта эксплуатации Категории 3.
- **Категория 4** (незначительный приоритет). Результаты опыта эксплуатации, не отнесены ни к Категории 1, ни к Категории 2, ни к Категории 3. Результаты опыта эксплуатации Категории 4 обычно рассматриваются в тех случаях, когда ЧМИ, процедура или программа обучения переработаны с целью улучшения качества. Результаты опыта эксплуатации Категории 4 не считаются существенными. Результаты опыта эксплуатации Категории 4 рассматриваются только с целью

улучшения качества и используются только для справки разработчиком ЧМИ, разработчиком процедур, разработчиком программы обучения.

Классификация результатов опыта эксплуатации рассматривается и утверждается командой ПЧФ в рамках сводных отчетов по результатам обзора опыта эксплуатации.

Анализ и применение в проектировании выводов по результатам опыта эксплуатации

Большинство отрицательных результатов опыта эксплуатации включают оценку первопричины опыта, определенную организацией, ответственной за станцию или технологию, вовлеченную в опыт эксплуатации. В отношении результатов опыта эксплуатации, не имеющих выявленной первопричины, эксперты по оценке опыта эксплуатации определяют первопричину на основе своей технической экспертизы, включая технические дисциплины, отличные от человеческих факторов.

Эксперты по оценке опыта эксплуатации разрабатывают для каждого результата опыта эксплуатации отчет о накопленном опыте. Отчет о выводах по результатам ПЧФ составлен таким образом, чтобы обеспечить достаточную уверенность в том, что этот результат опыта эксплуатации применен при проектировании каждого объекта, касающегося результатов опыта эксплуатации, например, условия эксплуатации АЭС, состояние АЭС, типа сигнализации, класса сигнала, модели оборудования, категории деятельности персонала, типа человеческого воздействия и т.п. Этот метод гарантирует, что выводы по результатам ПЧФ применены обобщенно на протяжении процесса проектирования и внедрения АЭС «Ханхикиви-1».

Эксперты по оценке опыта эксплуатации рассматривают каждый вывод по результатам ПЧФ, чтобы определить, является ли он проблемой ПЧФ. Если выявленная проблема ПЧФ не решается надлежащим образом в рамках проектирования АЭС «Ханхикиви-1», то несоответствие ПЧФ создается и заносится в систему отслеживания проблем (ITS); если проблема уже рассматривается как несоответствие в рамках ПЧФ АЭС «Ханхикиви-1», то новые несоответствия ПЧФ не рассматриваются в обзоре результатов опыта эксплуатации.

Каждый вывод по результатам ПЧФ документируется в сводных отчетах по результатам обзора опыта эксплуатации, поэтому его можно применить в проекте ЧМИ. Если вывод по результатам ПЧФ относится к любым другим элементам программы ПЧФ (не только к проекту ЧМИ), то он также заносится в систему отслеживания проблем, если это проблема ПЧФ. Один вывод по результатам ПЧФ может относиться к одному, нескольким или ко всем элементам программы ПЧФ.

Критически важные действия персонала

Эксперты по оценке опыта эксплуатации определяют результаты опыта эксплуатации, которые включают действия, схожие с действиями персонала, путем определения сценариев, при которых действия персонала необходимы для успешного смягчения последствий аварии. Эти действия персонала представляют собой любые действия, которые эксперты по оценке опыта эксплуатации считают необходимыми для смягчения последствий аварий, и включают действия, предпринимаемые в связи с отказом системы автоматики.

Критически важные действия персонала предшествующей станции, определены в документации станции предшественника. Опыт работы относительно них, рассматривается с помощью интервью оперативного персонала референтной АЭС. Применимость критически важных действий персонала для проекта АЭС «Ханхикиви-1», оценивается с участием других экспертов по инженерным дисциплинам (проектирование систем и т.д.).

Эксперты по оценке опыта эксплуатации определяют для каких результатов опыта эксплуатации существуют аспекты проекта АЭС «Ханхикиви-1», которые обеспечивают или ограничивают успех деятельности персонала. Результаты опыта эксплуатации, включающие ошибки в представлении критически важных действий персонала, также собираются в выводах по результатам ПЧФ.

Эксперты по оценке опыта эксплуатации рассматривают перечень критически важных действий персонала, разработанных в элементе «Обработка критически важных действий персонала», и определяют критически важные действия персонала для проекта АЭС «Ханхикиви-1», отличающиеся от таких же действий предшествующих или референтных станций. Команда внедрения затем определяет соответствуют ли результаты опыта эксплуатации критически важным действиям персонала проекта АЭС «Ханхикиви-1». Такие выводы по результатам ПЧФ включаются и отслеживаются до решения в системе отслеживания проблем, поэтому они могут быть должным образом рассмотрены в проекте ПЧФ, включая обработку важных действий персонала.

Отслеживание выводов по результатам опыта эксплуатации

Статус каждого вывода по результатам ПЧФ периодически оценивается и документируется в системе отслеживания проблем. Отслеживание гарантирует, что каждый вывод по результатам ПЧФ включается в проект АЭС «Ханхикиви-1». Отслеживание иногда упоминается как верификация, но оно не должно быть затенено процессами валидации и верификации человеческого фактора.

Все выводы, которые влияют на другие элементы Программы ПЧФ, включаются в систему отслеживания проблем, которая позволяет другим экспертам Программы ПЧФ рассмотреть их и проанализировать. Эти выводы также отслеживаются вплоть до завершения.

Документирование обзора опыта эксплуатации

Для каждого результата опыта эксплуатации документируются следующие данные:

- описание результатов опыта эксплуатации, включая источник опыта;
- организация, определившая первопричину или предполагаемую причину, и обоснование предполагаемой причины;
- область ПЧФ, влияющая на основу выбора критериев требований ПЧФ, описанную в Главе 8 Плана качества ПЧФ (HFE QR) [3];
- группа результатов опыта эксплуатации;
- категория результатов опыта эксплуатации;
- рекомендуемый метод включения исправлений в проект ПЧФ, определённый Командой ПЧФ;
- отчет выводов по результатам ПЧФ;
- другие элементы Программы ПЧФ, в которых должны быть применены выводы по результатам ПЧФ;
- дата определения выводов по результатам ПЧФ.

Команда ПЧФ контролирует процесс проектирования АЭС «Ханхикиви-1» с целью верификации каждого шага плана внедрения путем рассмотрения документации проекта АЭС «Ханхикиви-1» для определения соответствия и полноты.

Интерфейсы взаимодействия с другими элементами Программы ПЧФ

Вклад обзора опыта эксплуатации в другие элементы ПЧФ для проекта АЭС «Ханхикиви-1» представлен в таблице 2.

Таблица 2

Интерфейсы взаимодействия обзора опыта эксплуатации с другими элементами ПЧФ

Элемент ПЧФ	Вклад обзора опыта эксплуатации
Анализ и распределение функций	Основание для исходных требований. Основание для иерархии функций. Основание для первоначального распределения. Выявление необходимости модификации.
Анализ задач, обработка критически важных действий персонала, анализ надёжности персонала, укомплектования штата и квалификаций	Критически важные действия и ошибки персонала. Проблематичные операции и задачи. Случаи дефицита укомплектования персоналом.
Проект ЧМИ, разработка процедур и программ обучения	Оценки исследования альтернативных решений. Потенциальные проектные решения. Потенциальные проектные проблемы.
Верификация и валидация человеческого фактора	Задачи, которые будут оцениваться. Выбор событий и сценариев. Выбор критерия качества работы. Верификация решения проблемы.

7.2.3 Команда внедрения

Команда внедрения по обзору опыта эксплуатации состоит из инженеров ПЧФ, инженеров SKU, инженеров по системам и персонала по эксплуатации АЭС. Квалификация участников команды внедрения описана в HFE QR [3].

Команда внедрения по обзору опыта эксплуатации включает участников следующих Заинтересованных сторон ПЧФ:

- поставщик АЭС;
- главный проектировщик;
- менеджер по ПЧФ;
- другие заинтересованные стороны, ответственные за рассмотрение результатов по обзору опыта эксплуатации в рамках Команды ПЧФ Поставщика АЭС.

Команда ПЧФ периодически проводит технический обзор развития проектирования в части ПЧФ, особенно в части проектирования ЧМИ. Такой технический обзор позволяет техническим дисциплинам, представленных команде ПЧФ, понять проектные решения, которые сделаны в других технических дисциплинах, и оценить влияние этих технических решений на проект в зоне их ответственности. Команда ПЧФ согласовывает OER с целью междисциплинарного обмена знаниями.

7.2.4 Результат обзора опыта эксплуатации

Результаты обзора опыта эксплуатации предоставляются в сводных отчётах по результатам в соответствии с HFE QR [3]:

- предварительный сводный отчёт по результатам обзора опыта эксплуатации (предоставляется на фазе Технического проектирования);
- сводный отчёт по результатам обзора опыта эксплуатации на стадии Рабочего проектирования (на фазе Рабочего проектирования);
- окончательный сводный отчёт по результатам обзора опыта эксплуатации (на стадии ввода в эксплуатацию).

Каждый сводный отчёт по результатам представляет следующую информацию, содержащуюся в этом Плана внедрения обзора опыта эксплуатации:

- предшествующие/связанные АЭС и системы;
- методология рассмотрения;
- рассматриваемые источники/документы опыта эксплуатации.

Каждый сводный отчет по результатам дополнительно описывает:

- имена и квалификации всех участников, которые выполнили обзор опыта эксплуатации, описанный в сводном отчёте по результатам;
- описание проведения обзора опыта эксплуатации и результатов рассмотрения соответствующей технологии ЧМИ;
- описание интервью с персоналом станции или другими пользователями;
- описание всех результатов опыта эксплуатации, идентифицированных и включённых в проектирование АЭС «Ханхикиви-1»;
- количество и статус проблем ПЧФ, которые возникли на основе выводов по результатам ПЧФ, всё ещё отслеживаемых в HFE ITS.

Заключение

В соответствии с требованиями EPC-Контракта Программа ПЧФ включает обзор соответствующего опыта эксплуатации таким образом, чтобы не были повторены предыдущие ошибки и не исключены положительные практики прошлого. Эти ошибки и практический опыт рассматриваются как проблемы, связанные с ПЧФ и обрабатываются в системе отслеживания проблем (Issues Tracking System (ITS)).

Литература

1. NUREG-0711, рев. 3 «Модель анализа программы проектирования с учётом человеческого фактора», NRC, 2012.
2. FN1.P.P007.1.&&&&&.070.UW.0001.R «План программы проектирования с учётом человеческого фактора», рев. 4.
3. FN1.P.P007.&.070.QC.0002.R «План качества. Проектирование с учётом человеческого фактора», рев. 5.

8



8. Обеспечение радиационной безопасности

8.1 Деятельность отдела радиационной безопасности в 2020 году

В.В. Корноухов

Отдел радиационной безопасности (ОРБ) является научно-производственным подразделением института, выполняющим комплекс работ по радиационному и дозиметрическому контролю на ядерных энергетических установках (ЯЭУ), радиационных источниках института на всех этапах их жизненного цикла, методическому и метрологическому обеспечению радиационного контроля, проведению научно-исследовательских работ (НИР) в соответствии с программами НИР, по эксплуатации и техническому обслуживанию, ремонту и поверке всех средств измерений ионизирующих излучений, а также участвует в разработке автоматизированных систем радиационного контроля как для вновь создаваемых объектов института, так и для вспомогательных комплексов для проведения исследовательских работ в области материаловедения. Также отдел обеспечивает разработку и реализацию комплекса мер организационного, инженерно-технического, санитарно-гигиенического и образовательного характера, направленных на обеспечение радиационной безопасности персонала института и населения района расположения предприятия.

К задачам радиационного и дозиметрического контроля относятся:

- аппаратурный технологический контроль состояния физических барьеров безопасности на всех ЯЭУ института;
- индивидуальный и групповой дозиметрический контроль персонала института;
- контроль радиационной обстановки на рабочих местах персонала и в помещениях, где находятся источники ионизирующих излучений;
- контроль радиоактивного загрязнения поверхностей помещений и оборудования с целью нераспространения радиоактивного загрязнения, контроль средств индивидуальной защиты персонала;

- контроль и учёт радиоактивных веществ (РВ) в воздушных выбросах и водных сбросах, а также радиоактивных отходов, образующихся в ходе деятельности института;
- мониторинг радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне (СЗЗ) института (совпадает с территорией института), а также в зоне наблюдения (ЗН) института.

К научно-исследовательским работам ОРБ, проводимым на стендах ЯЭУ, относятся:

- научное и методическое сопровождение испытаний;
- разработка, совершенствование и внедрение методов, средств и автоматизированных систем радиационного и дозиметрического контроля;
- исследование массопереноса радиоактивных веществ в технологических контурах ЯЭУ, а также в случае нарушения целостности этих контуров;
- испытание новых нестандартных способов контроля состояния герметичности оболочек ТВЭЛов активных зон ЯЭУ.

К метрологическому обеспечению всех видов радиационного контроля, проводимого в институте, относятся работы по поверке средств измерений ионизирующих излучений:

- стационарных систем радиационного контроля;
- носимых дозиметров-радиометров оперативного контроля радиационной обстановки;
- переносных радиометров контроля радиоактивного загрязнения средств индивидуальной защиты (СИЗ) и кожных покровов персонала;
- лабораторных приборов;
- комплексов индивидуального дозиметрического контроля;
- спектрометров.

В 2020 году специалистами ОРБ, совместно с ОКЭЭР и ОХТИ, осуществилась подготовка к выгрузке и исследованиям ОТВС активной зоны ЯЭУ стенда-прототипа КВ-1, начато проведение внереакторной дефектации ОТВС на доработанном универсальном стенде дефектации.

К выполненным в 2020 году работам следует отнести поставку «под ключ» эталонной дозиметрической установки гамма-излучения по договору с АО «ИРМ» в рамках работ, проводимых ОРБ совместно с УП «Атомтех» республики Беларусь.

8.2 Внереакторная дефектация ОТВС активной зоны стенда КВ-1

В.Г. Ильин, М.Н. Баев, О.Н. Саранча

В 2020 году внереакторная дефектация ОТВС активной зоны стенда КВ-1 проводилась на основании «Графика мероприятий по подготовке и проведению демонтажных работ выгрузки и дефектации ОТВС установки КВ-1». Работа выполнялась по Программам-методикам Уч. № 05-19-499ПМ и № 05-20-118ПМ [1, 2]. Контроль герметичности оболочек ТВЭЛов в процессе внереакторной дефектации ОТВС осуществлялся с помощью универсального стенда дефектации (УСД), разработанного в НИТИ согласно технического задания Инв. № 6240/и.

Главной целью дефектации ОТВС заключительной кампании стенда КВ-1 являлось определение состояния (негерметичности) оболочек твэлов всех сборок. Определение негерметичности твэлов основано на измерении объёмной активности ^{85}Kr (реперного нуклида), поступившего в газовую (воздушную) среду стенда дефектации при нагреве данной ОТВС, помещенной в герметизируемый испытательный контейнер (ГИК) стенда, до заданной температуры и выдержке при этой температуре определенное время.

При подготовке и проведении внереакторной дефектации выгружаемых ОТВС активной зоны стенда был проанализирован и использован опыт проведения подобных работ при дефектации ОТВС активных зон предыдущей кампании стенда КВ-1 и первой кампании стенда КВ-2 [3, 4]. Недостатком существовавших схем радиационного контроля представляется наличие в контуре УСД в газовой фазе радионуклидов, не являющихся продуктами деления, но искажающих результаты измерения установкой УДГ-1Б объёмной активности реперного радионуклида ^{85}Kr по β -излучению, такими радионуклидами, как, например, ^{14}C с максимальной энергией бета-излучения 156 кэВ. Кроме того, для снижения выброса в атмосферу газовой фазы ОТВС необходима её дополнительная очистка от трития (^3H), углерода-14 (^{14}C) и радионуклидов йода (^{129}I), что потребовало совершенствования технологической схемы очистки УСД ОТВС.

Для повышения чувствительности и безопасности процедуры дефектации УСД был оснащен следующими средствами измерения и очистки:

- установкой радиометрической УДГБ-02И с блоком детектирования БДГБ-02И, устройством накопления и обработки информации УНО-04И – для измерения объёмной активности бета-излучающих инертных радиоактивных газов (диапазон измерения по ^{85}Kr от $3 \cdot 10^3$ Бк/м³ до $3 \cdot 10^8$ Бк/м³, энергетический диапазон от 65 кэВ до 3000 кэВ);
- гамма-спектрометром с блоком детектирования высокого разрешения на основе ОЧГ-детектора и проточной измерительной камерой, выполненной в форме сосуда Маринелли объёмом порядка 7,5 л – для измерения объёмной активности гама-излучающих газообразных радионуклидов в диапазоне энергий от 50 кэВ до 3000 кэВ; нижний диапазон измерения ^{85}Kr при этом составляет $1 \cdot 10^5$ Бк/м³ при экспозиции 1 ч, которая соответствует начальной стадии негерметичности оболочек твэл;
- барботером, заполненным раствором NaOH, улавливающим CO_2 и ^3H ;
- колонками, заполненными сухим селективным сорбентом «SodaLime», улавливающим CO_2 и силикагелем, улавливающим пары воды, содержащие в том числе тритий;
- йодной колонкой с селективным сорбентом «Силоксид», улавливающим летучие формы йода;
- средствами, позволяющими производить оперативный отбор проб газа из контура стенда для лабораторного газохроматографического анализа – для контроля газосодержания в газовом контуре стенда дефектации, в том числе, углеродо-содержащих летучих форм.

Для отработки методики контроля герметичности оболочек твэлов ОТВС на модернизированном УСД, на стадии подготовки к дефектации активной зоны стенда КВ-1, были проведены испытания двух ОТВС активной зоны стенда, хранящихся в бассейне выдержки. По результатам внереакторной дефектации 2006 года они были определены как герметичные.

Целью испытаний было определение влияния на выход углеродосодержащих летучих форм в газовый контур УСД при заполнении его воздухом или азотом и проверка эффективности очистки от них применяемых средств, а также влияния степени выхода углеродосодержащих летучих форм на показания установки УДГ-1Б.

Испытания проводились при температуре нагрева ГИК 300 °С и сопровождались:

- отбором проб газа из контура для лабораторного газохроматографического анализа перед началом дефектации, а также перед и после очистки газовой среды на селективных фильтрах УСД;
- отбором газа из контура селективными пробоотборниками на диоксид углерода и водорода с дальнейшим анализом содержания в пробах углерода-14 и трития на радиометре-спектрометре.

Полученные данные подтвердили выход в газовый контур УСД низкоэнергетических газообразных форм ^{14}C , в основном, в виде диоксида углерода и парогазовых форм ^3H при проведении дефектации.

При этом, по результатам газохроматографического анализа и коррелирующими с ними результатам измерения объёмной активности газового контура блоком детектирования БДГБ-02И, чувствительного к бета-излучению ^{14}C , было установлено, что при заполнении газового контура УСД воздухом выход диоксида углерода в контур выше примерно в 4 раза, чем при заполнении его азотом. Это позволило сделать вывод о том, что в поверхностных отложениях на ОТВС содержится углерод в твердой фазе, который окисляется до диоксида углерода при температуре нагрева ГИК 300°С и использование газовой среды с низким содержанием кислорода снижает выход его в контур и, соответственно, снижает уровень объёмной активности ^{14}C в нём и повышает чувствительность применяемого метода контроля.

Испытание применяемых селективных средств очистки показало, что эффективность очистки от диоксида углерода колонками, заполненными сухим селективным сорбентом «SodaLime», несколько выше, чем барботером, заполненным раствором NaOH, и существенно короче по времени очистки.

Следует особо отметить, что при проведении дефектации выбранных ОТВС активной зоны стенда КВ-1 наличие в газовом контуре ^{85}Kr достоверно не зарегистрировано, что свидетельствует о сохранении герметичного состояния их оболочек твэлов даже после длительной выдержки в течение 18 лет после окончания предыдущей кампании.

Многokrатно проведенные аналогичные испытания при проведении дефектации ОТВС активной зоны стенда, в основном, подтвердили полученные результаты.

В 2020 году была проведена внереакторная дефектация ОТВС активной зоны стенда в количестве 48 % от общего их массива. Дефектация проводилась по штатному регламенту при температуре нагрева ГИК 300 °С и с очисткой газового контура УСД перед проведением зачётных измерений.

Выводы

В рамках подготовительных работ по совершенствованию технологии дефектации проведена корректировка температурного и газового режимов, а также доработка системы непрерывного контроля радиационных параметров контролируемой газо-воздушной среды. Для этого предпринято следующее:

8. Обеспечение радиационной и ядерной безопасности

- с целью повышения чувствительности контроля состояния ОТВС штатный регламент дефектации ОТВС проводили при температуре нагрева сборок до $T = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- для повышения точности определения состояния ОТВС приняты меры по снижению поступления в измерительный контур стенда дефектации радионуклидов, мешающих бета-радиометрическому измерению объёмной активности реперного радионуклида ^{85}Kr установкой УДГ-1Б, такими как, ^{14}C и ^{129}I ;
- для снижения содержания летучих и газообразных бета-излучающих радионуклидов (^{14}C , ^{129}I и трития) в измерительный контур стенда дефектации было решено включить барботер, заполненный щелочным раствором для улавливания $^{14}\text{CO}_2$ и трития, а также фильтр, заполненный сухим селективным сорбентом «SodaLime» для улавливания $^{14}\text{CO}_2$ и силикагелем для улавливания паров воды, содержащих тритий, и фильтр, заполненный селективным к ^{129}I сорбентом «Силоксид»;
- для снижения содержания $^{14}\text{CO}_2$ в форме диоксида углерода воздух заменен на технический азот с низким содержанием кислорода;
- для снижения поступления газообразных и летучих форм радионуклидов в спецвентиляцию ВЦ-8 и далее в атмосферный воздух на сдувочном участке (ГИК) стенда дефектации установлен аэрозольный фильтр в дополнение к фильтру, заполненному активированным углем;
- для измерения объёмной активности бета-излучающих инертных газов в измерительный контур УСД вмонтирована установка радиометрическая РКС-11И с блоком детектирования БДГБ-02И и устройством накопления и обработки информации УНО-04И с диапазоном измерения по ^{85}Kr от $3 \cdot 10^3$ Бк/ м^3 до $3 \cdot 10^8$ Бк/ м^3 и энергетическим диапазоном от 65 кэВ до 3000 кэВ;
- для измерения объёмной активности гамма-излучающих газообразных радионуклидов в диапазоне энергий от 50 кэВ до 3000 кэВ установлен на линии измерительного контура гамма-спектрометр с блоком детектирования высокого разрешения на основе ОЧГ-детектора и проточной измерительной камерой, выполненной в форме сосуда Маринелли, объёмом $\approx 7,5$ л;
- для контроля содержания в газовом контуре стенда дефектации углеродосодержащих летучих форм контур УСД дооснащён средствами, позволяющими производить оперативный отбор проб газа из контура для развёрнутого лабораторного газохроматографического анализа.

Установлено, что:

- наличие в газовом контуре азота с содержанием кислорода в количестве, примерно, 1 % об. обеспечивает образование от 0,06 до 0,08% об. диоксида углерода, несущего основную долю объёмной активности газа;
- наличие в газовом контуре воздуха вызывает образование нескольких десятых объёмного процента диоксида углерода. Это приводит к увеличению содержания ^{14}C и, соответственно, объёмной бета-активности газа, превышающей верхний диапазон измерения бета-радиометра с блоком детектирования БДГБ-02И;
- раствор щелочи в барботере и составная колонка «SodaLime» и силикагель очищают газ от диоксида углерода, примерно, до одного уровня, однако, «SodaLime» выполняет эту операцию в 5 раз быстрее. Кроме того, составная колонка «SodaLime» и силикагель позволяет проводить раздельное концентрирование диоксида углерода, содержащего ^{14}C и тритий-содержащие пары воды с последующим измерением их активности.

8.3 Поставка эталонных дозиметрических установок гамма- и нейтронного излучения

Н.М. Петров, Д.А. Концевов, А.А. Шарин, С.Г. Алексеев

Благодаря длительной успешной совместной работе с УП «Атомтех» республики Беларусь, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» была делегирована функция комплектного поставщика (включая монтаж, пусконаладочные работы, проведение первичной поверки, обучение персонала и сдачу в эксплуатацию) для поставки поверочных установок гамма- и нейтронного излучения на территории Российской Федерации.

Начиная с 2013 года отдел радиационной безопасности (далее – ОРБ) НИТИ занимается поставкой эталонных дозиметрических установок гамма- и нейтронного излучений производства УП «Атомтех» (г. Минск, Беларусь) на предприятия и организации России. После заключения договора на поставку сотрудники ОРБ, совместно с УП «Атомтех» и предприятием-заказчиком, разрабатывают план размещения установки (установок) в помещениях заказчика с учётом размеров помещений, радиационной защиты, удобства работы эксплуатирующего персонала. После утверждения генеральным директором ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» эта документация передаётся заказчику для производства необходимых строительно-монтажных работ.

В 2020 году сотрудники ОРБ НИТИ выполнили работы по договору с АО «ИРМ» на поставку дозиметрической установки УДГ-АТ110. По данному договору НИТИ был обязан выполнить следующие работы:

- произвести монтаж дозиметрической установки на территории заказчика;
- осуществить комплекс пусконаладочных работ с имитаторами источников ионизирующих излучений;
- загрузить источники ионизирующего излучения с максимальной активностью 1,28 ТБк (34,6 Ки);
- произвести пуско-наладку дозиметрической установки с источниками;
- сопроводить работу поверителя, обеспечив функционирование дозиметрической установки во время проведения процедуры первичной поверки, обучить персонал.

Главной задачей в работе по данному договору для команды сотрудников ОРБ явилось проведение юстировки и настройки с высокой точностью поверочной установки после монтажа, чтобы по своим метрологическим характеристикам установка УДГ-АТ110 удовлетворяла требованиям к рабочим эталонам первого разряда (ГОСТ Р 8.804-2012).

В процессе выполнения обязательств по договору было выявлено, что источник гамма-излучения ИГИ-Ц-16-1, выпускаемый по новым ТУ на ФГУП «ПО «Маяк», имеет активность на 25 % ниже, чем выпускаемый по старым ТУ. В связи с этим был проведен анализ капсул источников, выпускаемых ФГУП «ПО «Маяк» и подобрана новая капсула большего размера, которую можно поместить в держатель источника дистанционно-управляемого облучателя ДУО-АТ110. Были проведены переговоры с ФГУП «ПО «Маяк», результаты которых позволили загрузить необходимое количество ^{137}Cs в капсулы для источника ИГИ-Ц-17-1. Параллельно с этим были проведены переговоры с УП «Атомтех» и достигнуто соглашение о

разработке и поставке нового держателя источников для УДГ-АТ110. Вышеуказанные процедуры позволили сохранить метрологические характеристики установки УДГ-АТ110 в соответствии с описанием её типа.

Разработка нового держателя по требованиям ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» позволила сохранить соблюдение закона обратных квадратов для пучка гамма-излучения, генерируемого новым источником.

Описание установки дозиметрической гамма-излучения УДГ-АТ110

Эталонная дозиметрическая установка гамма-излучения предназначена для воспроизведения и передачи единиц кермы в воздухе, экспозиционной дозы, амбиентного, индивидуального эквивалентов дозы, и их мощностей гамма-излучения рабочим эталонам и средствам измерений при поверке, калибровке и испытаниях.

Установка основана на использовании закрытых радионуклидных источников ^{137}Cs . В УДГ-АТ110 реализуется схема облучения с неподвижным облучателем и линейно-позиционируемой платформой калибровочного стенда. Диапазон значений мощности дозы гамма-излучения достигается применением набора источников различной активности и изменением расстояния «источник-детектор». Размер поля излучения варьируется расстоянием «источник-детектор» или диаметром канала коллиматора. Управление автоматизированными функциями облучателя и комбинированного стенда осуществляется дистанционно из помещения оператора.

Установка УДГ-АТ110 представляет собой сложный программно-технический комплекс, состоящий из отдельных подсистем:

- дистанционно-управляемый облучатель ДУО-АТ110;
- блок управления облучателем;
- пульт управления облучателем;
- стенд калибровочный КС-АТ110;
- блок управления стендом;
- пульт управления стендом;
- метеометр;
- система видеонаблюдения;
- монитор наведения;
- монитор наблюдения;
- лазерное устройство позиционирования поверяемого устройства;
- измеритель-сигнализатор СРК-АТ2327;
- система сигнализации и блокировки ССБ-АТ110;
- кран гидравлический;
- компьютер персональный DELTA;
- монитор LG;
- комплект ЗИП;
- комплект документации.

Основные характеристики установки приведены ниже в таблице.

Таблица

Основные характеристики установки УДГ-АТ110

Основные характеристики	УДГ-АТ110	УДГ-АТ110* (с расширением)
Источники гамма-излучения, максимальная активность	$^{137}\text{Cs} - 1,3 \cdot 10^{12}$ Бк (35 Ки)	$^{137}\text{Cs} - 4,44 \cdot 10^{12}$ Бк (120 Ки)
Количество источников	до 5	до 5
Формируемые диапазоны: - мощность кермы в воздухе; - мощность экспозиционной дозы; - мощность амбиентного эквивалента дозы, индивидуального эквивалента дозы	0,25 мкГр/ч – 350 мГр/ч 30 мкР/ч – 40 Р/ч 0,30 мкЗв/ч – 420 мЗв/ч	0,25 мкГр/ч – 2,2 Гр/ч 30 мкР/ч – 250 Р/ч 0,30 мкЗв/ч – 2,6 Зв/ч
Основная относительная погрешность при аттестации установки в качестве рабочего эталона 1-го разряда (2-го разряда)	±2,5 % (±5 %) [мощность кермы в воздухе и мощность экспозиционной дозы] ±4,5 % (±7 %) [мощность амбиентного эквивалента дозы и мощность индивидуального эквивалента дозы]	

Внешний вид установки, представлен на рисунке 1.

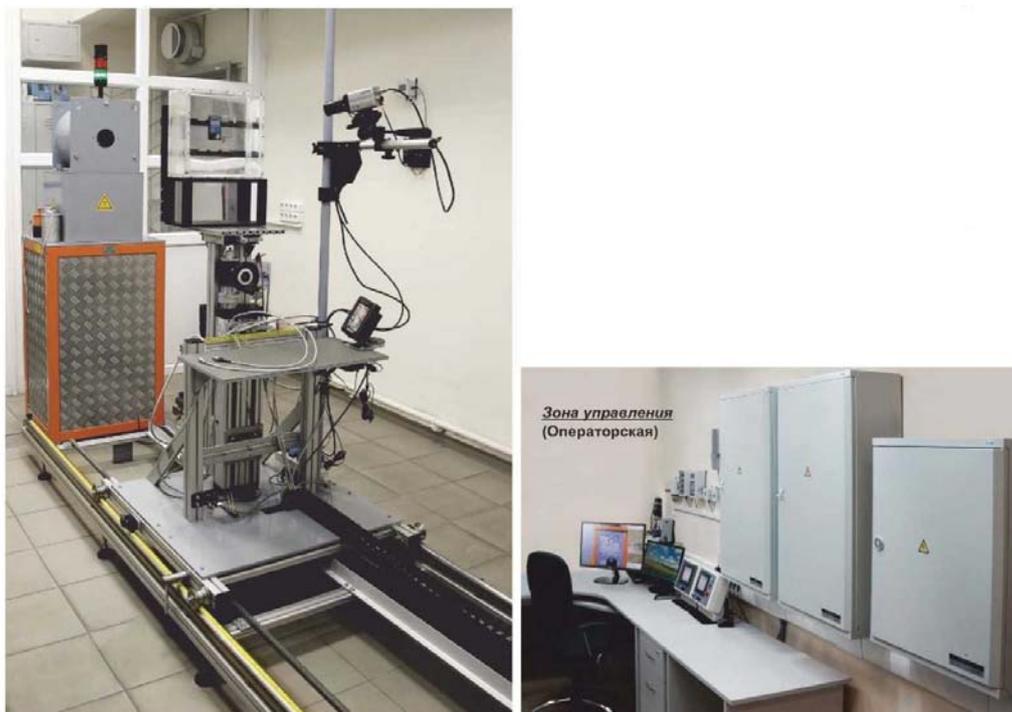


Рисунок 1 – Установка УДГ-АТ110

Структурная схема установки УДГ-АТ110, представляющей собой комплекс оборудования, приведена на рисунке 2.

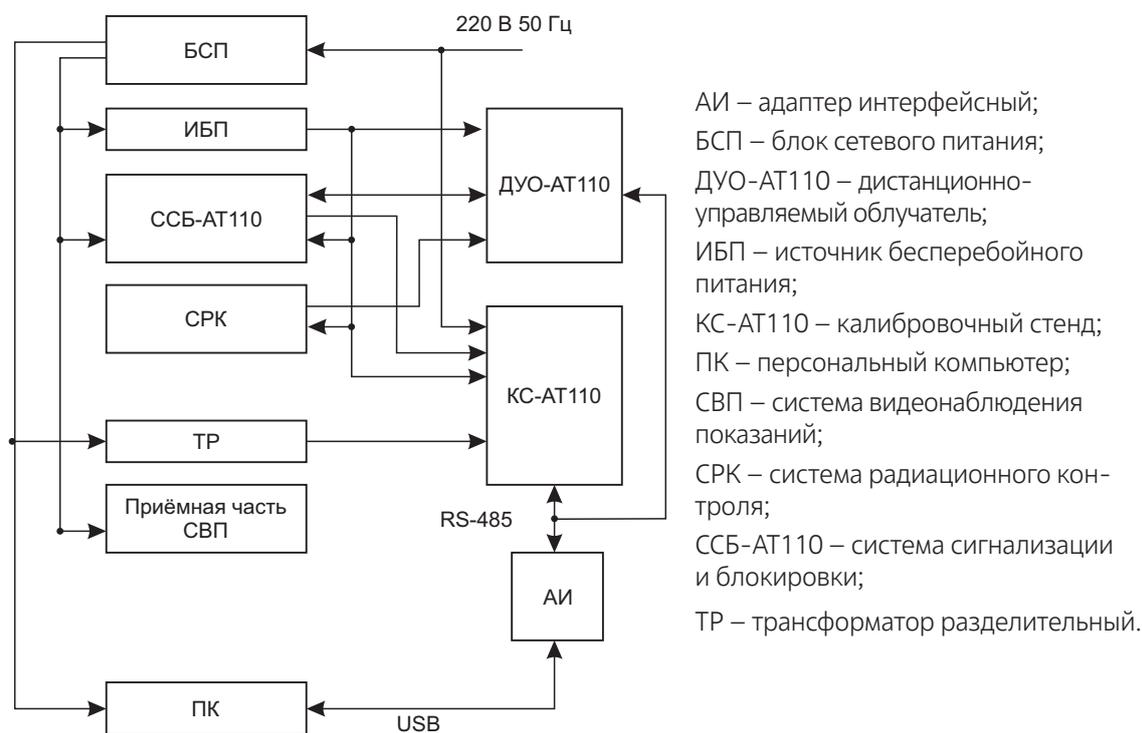


Рисунок 2 – Структурная схема установки УДГ-АТ110

Заключение

На сегодняшний день отработана и используется на практике схема взаимодействия между УП «Атомтех», ВО «ИЗОТОП», ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» и ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». Данное взаимодействие позволило с соблюдением всех юридических требований, а также правил и норм в области использования атомной энергии осуществить поставку современных эталонных установок УП «Атомтех» «под ключ» в сроки, удовлетворяющие требованиям Заказчика.

Точная настройка параметров составных частей установки в процессе их стыковки, проведенная сотрудниками ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» и УП «Атомтех», на каждом этапе сборки позволила провести квалификационные испытания поверочной установки с целью подтверждения её типа и получить характеристики для внесения установки УДГ-АТ110 в Федеральный Информационный Фонд по Обеспечению Единства Измерений (ФИФ по ОЕИ), как эталон первого разряда.

Применение данной эталонной установки УДГ-АТ110 на предприятии АО «ИРМ» позволит производить поверку средств измерений ионизирующих излучений третьего и второго разряда, в полном диапазоне и с заданной погрешностью.

Многолетняя работа по поставкам поверочных установок производства УП «Атомтех» позволила оснащать предприятия Госкорпорации «Росатом» новейшим поверочным оборудованием с уровнем автоматизации, обеспечивающим повышение производительности труда при проведении поверочных операций на 20÷80 %, а также существенное снижение дозовой нагрузки на поверителей с учётом автоматизированного управления перемещением эталонных источников ионизирующего излучения.

9



9. Метрологическое обеспечение исследований и испытаний на стендах-прототипах транспортных ЯЭУ

В.А. Беляков, А.Ю. Волков

Основными направлениями работ деятельности отдела метрологических исследований (ОМИ) в 2020 году были работы по метрологическому обеспечению (МО) испытаний на стендах-прототипах ЯЭУ и участие в ряде договорных работ с подразделениями института по разработке измерительных, диагностирующих систем и средств измерений для стендов-прототипов ЯЭУ и АЭС.

За 2020 год в институте поверено 6873 средства измерений (СИ), откалибровано 591 ед. СИ. Проведена метрологическая экспертиза 134 экз. научно-технической документации общим объёмом 5007 листов с оформлением замечаний и предложений по их корректировке. Аттестовано 14 ед. испытательного оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 0008-002-2013, ГОСТ Р 8.568-2017. Приобретено и поставлено на метрологический учёт 925 ед. средств измерений (СИ), их учёт вёлся с помощью автоматизированной системы учёта. В рамках внутренних аудитов системы менеджмента качества осуществлялся метрологический контроль и надзор за состоянием и применением на предприятии СИ в соответствии с СТО 40-2018 «Внутренний метрологический надзор», а также в рамках внутренних



аудитов системы менеджмента качества в соответствии с СМК 4.2.2-2013. На балансе метрологической службы (МС) находится 285 рабочих эталонов для поверки и калибровки СИ. Все эталоны прошли процедуру первичной аттестации. Актуализированы и согласованы перечни испытательного оборудования, средств измерений и эталонов.

При подготовке к очередному этапу испытаний оборудования, проводимого на стендовом комплексе (СК) института, выполнены работы по ремонту, пуско-наладке, градуировке, юстировке, поверке, калибровке средств измерений и измерительных каналов (ИК) технологических систем, решению оперативных задач метрологического обеспечения, метрологической экспертизе документации и другие работы, способствовавшие обеспечению высокого качества измерительной информации и безопасности эксплуатации стендовых ЯЭУ НИТИ.

Осуществлена бездемонтажная поверка в условиях эксплуатации 330 ИК с датчиками типа 44Д и ДСИ 111 систем важных для безопасности.

Проверена работоспособность и определены действительные значения метрологических характеристик на месте эксплуатации у 159 аналоговых измерительных каналов ИВК «АНИС-ВЗ» по разработанной методике.

В соответствии с требованиями ГОСТ 8.586.1, 2-2005, РД 50-411-83 и ПК «Расходомер ИСО» выполнены расчёты для 29 ед. диафрагм типа ДКС, ДФК (сужающих устройств СУ) расходомерных измерительных комплексов (РИК) по опросным листам АО «Теплоконтроль» г. Казань. Расчёты проведены с учётом выбранных Разработчиком значений перепадов давления на СУ и расходов в технологических трубопроводах. По результатам расчётов даны рекомендации по устранению выявленных несоответствий для 12-и позиций РИК.

По заданию эксплуатирующего подразделения проверена работоспособность каналов системы виброизмерений (СВИ) в рабочих условиях эксплуатации с имитацией сигналов акселерометров 8324-S-O с помощью имитатора WB1292-001. Подключение имитатора WB1292-001 к штатным линиям связи СВИ (вместо акселерометров) при проверке приводило к ошибке высвечиваемой на мониторе системы. Вероятной причиной являлось шунтирование каналов системы малым выходным сопротивлением имитатора WB1292-001 или несогласованность коэффициента усиления его усилителя. Специалистами ОМИ был предложен альтернативный способ проверки СВИ, заключающейся в поочередном подключении к штатным линиям связи СВИ акселерометра 8324-S-O (из состава ЗИП), устанавливаемого на виброгенераторе типа 8309, создающем вибрацию контролируемого объекта с разной частотой и амплитудой. Такой способ позволял гарантировано подтвердить работоспособность каналов СВИ, т.к. воспроизводил их реальную работу воздействием вибрации непосредственно на



акселерометр 8324-S-O. Работоспособность СВИ была подтверждена при повторной проверке с использованием генератора сигналов сложной формы DS360, вибростенда 4848 с усилителем мощности 2719 и комплекта, состоящего из вибропреобразователя ускорения модели 8305 и измерительного усилителя типа 2525.

Проведены пусконаладочные работы по устранению систематической погрешности (тарировке) датчика разности давления 44ДД312-35-1,0 МПа-12 из состава системы контроля мощности дозы. Тарировка датчика осуществлена на месте установки под статическим давлением в соответствии с методикой пусконаладочных испытаний.

Выполнены пусконаладочные работы с последующей градуировкой и внеочередной проверкой в условиях эксплуатации комплекта датчиков абсолютного давления системы безопасности типа 44ДА212-09. Выявлен отказ одного из трех датчиков. Осуществлена его замена на датчик из состава ЗИП с проведением повторной проверки комплекта.

В обеспечение очередного этапа испытаний на СК проведена метрологическая экспертиза и согласование 54 научно-технических документов, разработанных подразделениями института. Выданы замечания и предложения по их корректировке.

В связи с решением Главного конструктора о применении на изделии «УГМ-Л» двух сигнализаторов частоты вращения типа «Сигнал-4-05У-50Т» выполнены работы по их контрольной проверке в соответствии с методикой, приведенной в руководстве по эксплуатации. Нормируемые метрологические характеристики сигнализаторов были подтверждены.

Специалисты отдела принимали участие в дополнительных и повторных испытаниях пакетов кассет системы поглощения газов (СПГ) в модельных условиях стенда «ВХГР» в части метрологического обеспечения измерений технологических параметров «ВХГР», участия в испытаниях СПГ и работе комиссий.

С целью подтверждения сохранения нормированных метрологических характеристик штатного расходомерного измерительного комплекса питательной воды «Дроссель 1ПН-МК» (РИК) перед началом очередного этапа испытаний оборудования на СК выполнена его градуировка и поверка в соответствии с правилами ПР 50.2.022-99, а также поверка входящих в его состав комплектующих датчиков 44ДД и вторичного измерительного преобразователя НПП-ЗМ с оформлением свидетельств о поверке. Дополнительно подтверждены значения основных приведенных погрешностей измерительных каналов РИК путем калибровки.

Совместно с эксплуатирующим подразделением проведены исследования технического состояния штатных датчиков и сигнализаторов типа 44Д, УЗС-4Р, СУС314, ДСИ111, ИПТ1622, ТСП/1-8040ВП (всего 537 ед. СИ) по разработанным программам. Исследования проводились с целью определения возможности продления ресурса и срока службы изделий. По итогам работ выпущены акты проверок и заключения о возможности продления назначенных показателей СИ.

Подтверждена пригодность к дальнейшему использованию по назначению испытательного расходомерного стенда (ЭРС), работающего на воде высокой чистоты (ВВЧ), путём периодической аттестации по программе, утвержденной ФБУ «ГНМЦ» Минобороны России, осуществившей его первичную аттестацию. В объёме подготовки к периодической аттестации ЭРС организованы и проведены работы по поверке входящих в состав средств измерений. Осуществлено сопровождение работ по гидравлическому монтажу и электрическим подключениям поверенных СИ на стенде ЭРС.

В соответствии с приказом Генерального директора института, проведена инвентаризация выполненных ОМИ опытно-конструкторских работ по тематике института с целью определения необходимости утилизации материальных ценностей пришедших в негодность с оформлением отчетной документации.

Выполнены работы по ремонту и внеочередной поверке 45 ед. СИ (датчик разности давления САПФИР-22МТ, система акустико-эмиссионная типа КАЭМС-С1, термометры биметаллические БТ5, модули аналогового ввода 140AVI03000, измерители сопротивления изоляции типа «SEW1851IN», мегомметр щитовой типа М1428, блок системы контроля сопротивления изоляции типа «Контроль 24М1», амперметры щитовые типа М1420, синхроскоп типа Э327, мегомметр типа ЭСО 202/2-Г, технический манометр МП4-УУ2, термометр биметаллический ТБ-2Р, аналоговый преобразователь ПА-К-2, килоамперметр щитовой типа М1618 заряд-разряд, манометр образцовый МО, термометры биметаллические типа БТ-5, измерительный преобразователь Е7047/45, манометры типа ТМ2 и ДМ02, преобразователь измерительный Ш932.1).

Проведен входной контроль (верификация) 284 ед. СИ, поставлены на метрологический учёт с оформлением метрологических паспортов 427 ед. СИ, рассмотрены и согласованы заявки на закупку 60 ед. СИ для оборудования стендов института.

Осуществлена поверка в условиях эксплуатации 12 ИК штатных комплексов термометрических ИПТ 1622. Выполнен ремонт, пусконаладка и градуировка в условиях эксплуатации 3-х вторичных измерительных преобразователей ПИП 1622 термометрических комплексов ИПТ 1622. Внесены изменения в метрологические паспорта комплексов.

Настроен и введен в эксплуатацию регистратор Ф 1771, входящий в состав трубопровода малых расходов (ТМР).

Произведен осмотр, определены причины неработоспособности и выданы акты о техническом состоянии 21 ед. СИ: ключей динамометрических Union 910 F, динамометра типа ДПУ-50-1(5т), секундомера механического типа СОПпр-2а-2, мультиметра типа М-838, датчиков типа 44ДА-112, Сапфир-22МПС-А, клещей электроизмерительных Ц 4505, динамометрического ключа с изменяемой геометрией 20-100 Nm, шумомера-анализатора спектра «Экофизика-110А», секундомера СОС пр-2Б-2-010, ключей динамометрических (код 910 F, серия 900 Union), вольтметров переменного тока типа Ц1760.1-АД, манометров типа ТМ2, блока питания и преобразования сигналов БППС 4090А. Выполнены работы по снятию с метрологического учёта изделий в связи с их не ремонтпригодностью.

В рамках отдельного договора выполнялись работы по метрологическому сопровождению разработки технического проекта на составную часть ОКР «Создание системы



контроля и диагностики (СКД)». Разработаны и выпущены документы по метрологическому обеспечению системы.

Специалисты отдела принимали участие в договорной работе по проведению метрологической экспертизы документации на создаваемую в НИТИ Аппаратуру СТД ГЦНА и приборы ССД-03 для блоков Курской АЭС и зарубежных АЭС «Аккую» (Турция) и «Руппур» (Бангладеш).

В 2020 году разработан основополагающий организационно-распорядительный документ – стандарт предприятия СТО 52-2020 «Управление метрологическим оборудованием». Стандарт устанавливает требования к управлению метрологическим оборудованием, к которому относятся средства измерения (в том числе измерительные каналы и измерительные системы), испытательное оборудование, средства контроля и индикаторы. В нем содержатся сведения о порядке назначения, обязанности и праве лиц, ответственных за состояние и применение метрологического оборудования в подразделениях института, о закупке, вводе в эксплуатацию и эксплуатации метрологического оборудования, об организации его метрологического учёта, организации проведения поверки и калибровки СИ, порядке заполнения и ведения метрологического паспорта, хранения (длительном хранении) СИ, процедурах утверждения типа СИ.

Также приведены инструкции по порядку ведения перечня методик измерений, порядку их разработки и аттестации, оценке подтверждения правомочности результатов проведенных измерений, контроля и испытаний.

Помимо работ по метрологическому обеспечению стендов-прототипов транспортных ЯЭУ, специалистами отдела выполнен большой объём работ по измерениям вредных производственных факторов на рабочих местах в подразделениях института (шума, вибрации, электромагнитных полей, световой среды).

С целью поддержания в работоспособном состоянии оборудования и систем жизнеобеспечения стендовых комплексов транспортных ЯЭУ КВ-1 и КВ-2, проведена плановая поверка 194 ед. средств измерений стенда КВ-1 и 656 ед. средств измерений стенда КВ-2. Выполнены работы по метрологической экспертизе и согласованию технической документации, разработанной по программе проведения исследований оборудования стенда КВ-1 после окончания очередной кампании испытаний.

В рамках договорной работы специалисты ОМИ принимали участие в метрологическом сопровождении создания новой ЯЭУ и реконструкции стендового комплекса КМ-1 в части проведения метрологической экспертизы документации, контроля выбора средств измерений, соблюдения метрологических правил и норм при создании ЯЭУ и реконструкции стендового комплекса.



10



10. Внедрение информационных технологий

Д.В. Макаров, А.В. Звонцов, Д.А. Бекиш

В соответствии с основными целями отдела информационных технологий (ОИТ) по обеспечению современными информационными технологиями и повышению эффективности деятельности подразделений НИТИ в 2020 году работа ОИТ, как подразделения, выполняющего функции оператора ИТ-услуг и системного администрирования ИТ-ресурсов, проводилась в рамках утвержденного плана работ.

По состоянию на конец 2020 года под администрированием ОИТ находятся:

- 27 физических серверов, 66 виртуальных машин и 2 системы хранения данных;
- 712 (шт.) ПЭВМ;
- 24 корпоративных (внутренних) информационных систем и 57 внешних систем, включая ИРС Госкорпорции «Росатом» – 28, ИС банков и УФК – 9, федеральных государственных ИС – 20.

На базе центра обработки данных института сформированы файловые архивы для 34-х подразделений института в соответствии с требованиями от подразделений по структуре и правам разграничения доступа.

Согласно «Показателям процессов системы менеджмента качества ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» на 2020 год в институте документированная информация используется в следующих информационных системах: ЕОСДО, DocsVision, КИС «Компас», 1С: Предприятие, внутренний информационный портал НИТИ, Кодекс, Консультант, Гарант, СУ НТД «Техэксперт», «АО» (администратор – ОДИ), интернет сайт www.niti.ru и в файловых архивах подразделений. Доля подразделений института, имеющих доступ к информационным системам и пространству для хранения документированной информации, составляет 95 %;

В рамках осуществления Политики ИТ силами ОИТ выполнялись работы по централизованному администрированию на основе доменной инфраструктуры, унификации оборудования и офисного ПО, резервированию корпоративных данных на серверах ОИТ.

С целью достижения своевременного и качественного предоставления ИТ-услуг и выполнения условий сервисных соглашений между подразделениями-заказчиками ИТ-услуг и

ОИТ, в ходе выполнения Плана мероприятия в сфере совершенствования качества предоставления ИТ-услуг Госкорпорации «Росатом» силами ОИТ выполнено:

- разработан актуализированный Перечень ИТ-ресурсов института с распределением зон ответственности между руководителями подразделений по роли «Владелец ИТ-ресурса» и Правила организации предоставления, изменения и прекращения доступа к ИТ-ресурсам института;
- разработан Регламент по управлению ИТ-услугами в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». Регламент является основополагающим документом в сфере оказания ОИТ ИТ-услуг и устанавливает правила и требования оказания ИТ-услуг, обязательных для применения при выполнении процесса «Управление ИТ-услугами» группы процессов «Управление информационными технологиями»;
- перевыпущен Реестр ИТ-рисков.

В настоящее время НИТИ оснащен всеми необходимыми информационными системами, позволяющими вести автоматизированную управленческо-хозяйственную и финансово-экономическую деятельность, включая предоставление в Госкорпорацию «Росатом», федеральные органы и банки необходимой отчётной документации.

На рисунках 1 и 2 приведены диаграммы статистики по количеству информационных систем и пользователей.

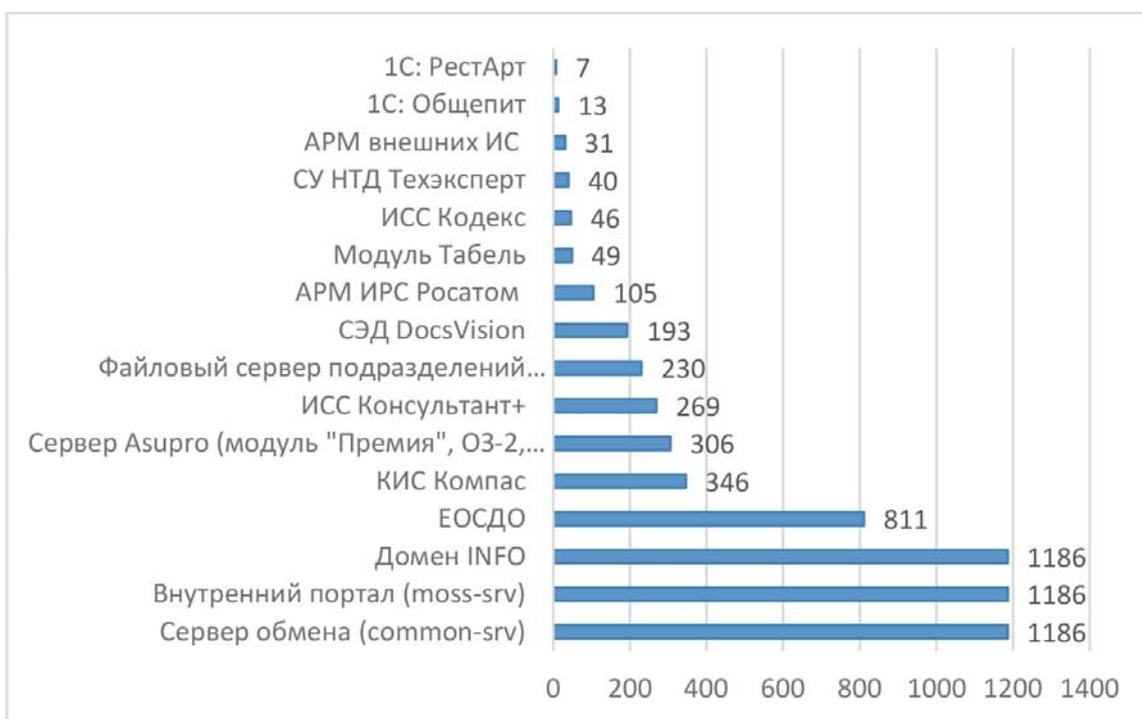


Рисунок 1 – Статистика по количеству пользователей основных корпоративных и внешних информационных систем



Рисунок 2 – Статистика по подключению к внешним информационным системам

Работы ОИТ в рамках цифровизации производственных процессов

1. Создание автоматизированной системы (АС) в защищенном исполнении «Корпоративная локально-вычислительная сеть» на 700 пользователей:
 - в рамках договора с ФГУП «НПП «Гамма» проведена оценка соответствия защищенности объектов критической информационной инфраструктуры института требованиям по защите информации;
 - в рамках создания проектов на модернизацию АС и подсистемы защиты информации в АС, завершен первый этап «Предпроектное обследование», начат второй этап – «Проектирование АС» (окончание работ планируется в 2021 году).
2. ЕОСДО:
 - с 01.01.2020 введены в эксплуатацию сценарии «Внутренняя служебная переписка подразделений института», «Контроль поручений»;
 - с 14.12.2020 технически обеспечена регламентированная рассылка ОДО организационно-распорядительных документов (приказов, распоряжений и пр.).
3. Внедрение ТС УП ЯОК Госкорпорации «Росатом» на 90 пользователей – реализация программы импортозамещения, согласно единой цифровой стратегии Госкорпорации «Росатом», разработанной и утвержденной 16.11.2018 в целях обеспечения проведения цифровой трансформации Госкорпорации «Росатом».
4. Опытная эксплуатация автоматизированной системы учёта спецпитания на платформе ИС «Сбербанка» и банковских карт «МИР».
5. Автоматизация процессов бухгалтерского и налогового учёта в КИС «Компас».
6. Повышение качества оказываемых ИТ-услуг (в т.ч. регламентация работы ОИТ в соответствии с планом мероприятий Госкорпорации «Росатом» по повышению качества оказываемых ИТ-услуг в ЯОК).

11



11. Управление качеством

О.Н. Щипалкин

Основными задачами в деятельности отдела управления качеством являются:

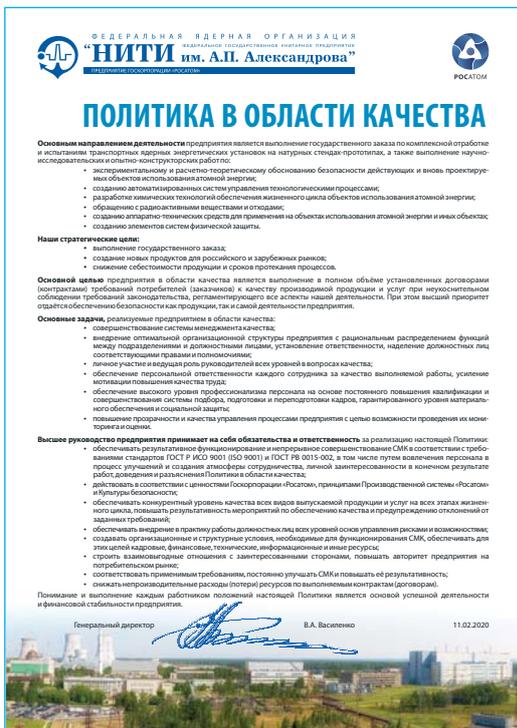
1. Обеспечение соответствия системы менеджмента качества института установленным требованиям.
2. Организация и обеспечение проведения оценки соответствия продукции установленным требованиям. Организация и проведение контроля качества (верификации) закупаемых товаров, работ, услуг, инициация мер, направленных на обеспечение их надлежащего качества. Участие в обеспечении и контроле качества продукции (работ, услуг), выпускаемой институтом.
3. Участие в работах по повышению производственной эффективности. Организация работ по внедрению и развитию производственной система «Росатом» в институте.

11.1 Система менеджмента качества предприятия

А.В. Журба, В.Н. Порядин, О.Н. Щипалкин

В 2009 году в институте разработана, документально оформлена, внедрена и сертифицирована на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2008 (ISO 9001:2008) система менеджмента качества (далее – СМК), охватывающая деятельность всех структурных подразделений института. Ежегодно органом по сертификации проводится инспекционный контроль СМК и один раз в три года – ресертификация СМК.

В 2018 году проведен очередной цикл ресертификации СМК Органом по сертификации «Ассоциация по сертификации «Русский Регистр» на соответствие требованиям международного стандарта ISO 9001:2015 и национальных стандартов ГОСТ Р ИСО 9001-2015 и ГОСТ РВ 0015-002-2012. В 2019 году проведена первая инспекционная проверка СМК, в 2020 году вторая инспекционная проверка. Действующая система менеджмента качества ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» соответствует установленным требованиям, обеспечивает требуемую результативность при проведении работ в заявленной области деятельности и постоянно совершенствуется. Сертификаты соответствия СМК приведены ниже. В 2021 году запланированы работы по ресертификации СМК.



навыками применения методологии 8D при обнаружении несоответствий продукции и процессов, что подтверждается соответствующими сертификатами, выданными АНО ДПО «Техническая академия Росатома».

Внедрение СМК, её дальнейшее развитие и совершенствование, применение современных моделей управления в области качества с учётом требований заказчиков, саморегулируемых организаций, органов государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии позволяет повышать эффективность и результативность деятельности подразделений и института в целом и обеспечивает достижение стратегических целей предприятия.

Необходимо отметить сотрудников подразделений института, внесших значительный вклад в развитие СМК института: Воронину Н.В. – начальника группы управления качеством аналитического контроля ОХТИ, Волкова А.Ю. – главного метролога – начальника ОМИ, Осипенко О.В. – ведущего инженера ОГК, Пивоварову Г.Н. – ведущего специалиста группы планирования и отчётности ОМТС.

11.2 Оценка соответствия продукции

Ю.Н. Пупышев, О.Н. Щипалкин

В 2020 году основная задача отдела по оценке соответствия продукции заключалась в обеспечении качества продукции, поставляемой при реализации проектов «Реконструкция стенда КМ-1», «Создание ИК «Ресурс», «Техническое перевооружение и реконструкция стендовой базы для проведения испытаний судовых РУ», выполняемых в рамках федеральных целевых программ. Выполнение работ по оценке соответствия продукции силами персонала эксплуатирующих подразделений – заказчиков и отдела управления качеством позволило институту достигнуть следующих целей:

- снизить количество продукции с несоответствиями, выявляемыми при входном контроле;
- снизить себестоимость продукции;
- уменьшить сроки проведения входного контроля;
- снизить риски приемки некачественной продукции.

В рамках работ по оценке соответствия продукции за 2020 год было организовано:

- разработка и внедрение «Порядка принятия и учёта решений о применении импортной продукции»;
- обучение и аттестация персонала по визуальному и измерительному контролю основного металла, сварных соединений I, II, III категорий оборудования и трубопроводов ОИАЭ.
- актуализация приказа по институту о назначении функциональных групп по оценке соответствия продукции.

Значительный вклад в работы по оценке соответствия и контролю качества продукции вносит ведущий инженер по качеству ОУК Смирнов А.П.

11.3 Развитие производственной системы «Росатом»

В.С. Кухтик, О.Н. Щипалкин

Производственная система «Росатом» (ПСР) – масштабный отраслевой проект, призванный повысить производительность труда, сократить издержки производства, повысить эффективность производственных и управленческих процессов. ПСР базируется на многолетнем мировом опыте, российских и отраслевых разработках.

Производственная система «Росатом» – это культура бережливого производства и система непрерывного совершенствования процессов деятельности предприятия. Бережливое производство – концепция организации бизнеса, ориентированная на создание привлекательной ценности для потребителя путем формирования непрерывного потока создания ценности с охватом всех процессов организации и их постоянного совершенствования через вовлечение персонала и устранение всех видов потерь.

Внедрение ПСР в институте началось с 2012 года. Вопросы развития Производственной системы института ежеквартально рассматриваются на Комитете производственной эффективности под председательством главного инженера института. Работы по развитию Производственной системы строятся на принципах интеграции ПСР и системы менеджмента качества с учётом реализации Программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности института.

В 2020 году подразделениями института было реализовано девять ПСР-проектов. Наиболее эффективные из реализованных проектов:

- «Совершенствование системы коммерческого учёта тепловой энергии и горячей воды» (руководитель проекта начальник ООДУиП УЭС В.В. Лукконен, ответственный за ПСР В.Г. Чернов), экономический эффект составил 6 180,2 тыс. руб.
- «Совершенствование системы учёта электрической энергии на 2020 год» (руководитель проекта начальник ООДУиП УЭС В.В. Лукконен, ответственный за ПСР В.Г. Чернов), экономический эффект составил 1 263,3 тыс. руб.
- «Совершенствование процессов приемки и хранения на центральных складах ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» (руководитель проекта начальник ОМТС О.О. Гарголина, ответственный за ПСР Г.Н. Пивоварова), экономический эффект составил 2 225,3 тыс.руб.

12

Международное
сотрудничество и
научно-технические
мероприятия

12. Международное сотрудничество и научно-технические мероприятия

Ю.В. Крюков

12.1 Работа по международным соглашениям и контрактам

1. Изучение процессов в корнуме на различных стадиях формирования ванны расплава в корпусе реактора при тяжёлых авариях АЭС

Контракт: «Оказание интеллектуальных услуг по проекту TCOFF-2019»



Зарубежный партнёр – Организация по экономическому сотрудничеству и развитию OECD, Франция.

Договор на оказание интеллектуальных услуг по проекту TCOFF между ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» и Организацией экономического сотрудничества и развития (OECD) заключён по результатам международного конкурса заявок, проведенного в рамках проекта TCOFF.

Целью работы по проекту TCOFF – 2019 является исследование фазовых равновесий в системе U-Zr-Fe-O-V-C на комплексе экспериментальных установок РАСПЛАВ ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». Результаты использовались Заказчиком для анализа и обоснования безопасности АЭС.

Контракт: «Проведение эксперимента по программе CORDEB 3»



Зарубежный партнёр – Институт противорадиационной защиты и ядерной безопасности «IRSN», Франция.

Соглашение по международному проекту CORDEB-3 стало логическим продолжением выполненных институтом ранее работ по проектам CORDEB и CORDEB-2.

В рамках программ CORDEB и CORDEB-2, выполненных во ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» по контрактам с IRSN (Франция) в 2012–2019 гг., были проведены экспериментальные исследования по изучению процессов в кориуме на различных стадиях формирования ванны расплава в корпусе реактора. Эксперименты выполнялись во ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» на установках экспериментального комплекса РАСПЛАВ с использованием технологии индукционной плавки в холодном тигле. Применительно к тяжёлоаварийным кодам предложены методики расчётного моделирования физико-химических и тепловых процессов при формировании ванны расплава на днище корпуса реактора.

В рамках программы CORDEB-3 проведены эксперименты, направленные на получение дополнительной информации по трансформации трёхслойной структуры ванны расплава в высокотемпературной области (экспериментальное исследование трёхслойной ванны расплава кориума с низкой степенью окисленности (С-30) при температуре расплава легкого металла 1900 °С и времени выдержки 360 мин. в присутствии корки между расплавом легкого металла и оксидно-металлическим двухжидкостным расплавом).

Полученные результаты использованы Заказчиком для анализа и обоснования безопасности АЭС.

2. Поставка эталонных дозиметрических установок гамма- и нейтронного излучения



Зарубежный партнёр – УП «Атомтех», Республика Беларусь.

Анализ состояния эталонного оборудования для поверки средств измерений ионизирующих излучений на предприятиях Госкорпорации «Росатом» свидетельствует, что, в основном, парк данного оборудования составляют установки со сроками службы 20–30 лет. Как правило, эти установки не позволяют осуществлять поверку во всем диапазоне современных средств измерений ионизирующих излучений и имеют низкий процент автоматизации. В данный момент предприятия Российской Федерации, выпускающие такие эталоны, не обеспечивают поверку эталонов при больших мощностях доз.

Имея положительный многолетний опыт сотрудничества с УП «Атомтех» (Минск, Республика Беларусь), а также опыт эксплуатации дозиметрических установок гамма- и нейтронного излучения производства этого предприятия, специалисты ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», начиная с 2013 года, занимаются поставкой эталонных дозиметрических установок гамма- и нейтронного излучения производства УП «Атомтех» на предприятия и в организации Российской Федерации. Специалисты НИТИ прошли обучение в УП «Атомтех» и получили разрешение на право выполнения всех работ по монтажу, пуско-наладке, загрузке источников ионизирующего излучения и сдаче эталонных дозиметрических установок Российскому Заказчику «под ключ».

В 2020 году выполнены работы:

- по поставке, проведению монтажа и пусконаладке установки дозиметрической гамма-излучения УДГ-АТ110 (без источников гамма-излучения) и дозиметра ДКС-АТ5350/1 в АО «ИРМ», также проведено обучение персонала конечного пользователя (АО «ИРМ»);
- по загрузке источников ионизирующего излучения и пусконаладке установки дозиметрической гамма-излучения УДГ-АТ130 и установки поверочной нейтронного излучения УПН-АТ-140 с загруженными источниками на территории вч 62695.

3. Предоставление программы для ЭВМ «САПФИР_95» центру по ядерной и радиационной безопасности МЧС Республики Беларусь

Контракт: «Предоставление неисключительного права использования программы для ЭВМ «САПФИР_95»

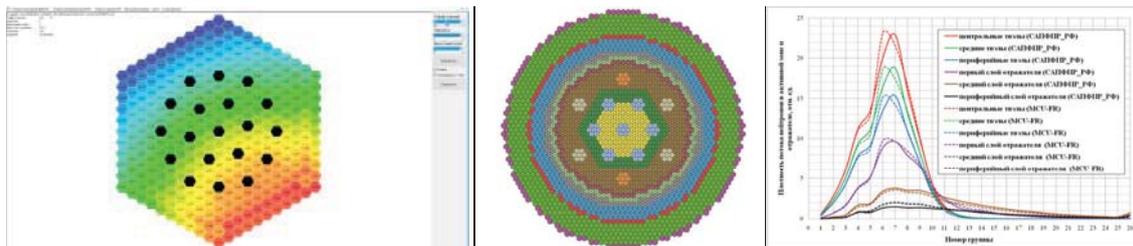


Зарубежный партнёр – Государственное научное техническое учреждение «Центр по ядерной и радиационной безопасности» МЧС Республики Беларусь.

Государственное научное техническое учреждение (ГНТУ) «Центр по ядерной и радиационной безопасности» МЧС Республики Беларусь обратилось к ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» с просьбой о предоставлении права использования программы для ЭВМ «САПФИР_95» для подготовки эффективных мало групповых нейтронно-физических характеристик (констант) ячеек активных зон ВВЭР с целью их последующего использования в программных средствах «Rainbow-TRP» и «DYN3D» при проведении научно-исследовательских работ и экспертизы безопасности.

Программа ЭВМ «САПФИР_95» разработана специалистами ФГУП НИТИ им. А.П. Александрова» и предназначена для подготовки эффективных мало групповых нейтронно-физических характеристик (констант) сборок, активных зон, хранилищ отработавшего ядерного топлива водо-водяных и уран-графитовых реакторов, а также для расчёта нейтронно-физических характеристик ячеек (полиячеек) ядерных реакторов в процессе выгорания:

- коэффициента размножения нейтронов (реактивность);
- скорости реакций в элементах тепловыделяющих сборок;
- потвального энерговыделения в тепловыделяющих сборках;
- изменения изотопного состава топлива;
- активности мишеней в облучательных устройствах;
- коэффициентов реактивности; эффективности («вес») поглощающих элементов.



В рамках работ по контракту сотрудниками ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» переданы ГНТУ «Центр по ядерной и радиационной безопасности» МЧС Республики Беларусь:

- программа для ЭВМ «САПФИР_95» (свидетельство о государственной регистрации программы № 2014616630 от 30.06.2014);
- описание применения Программы;
- программы и методики испытаний.

4. Участие в работах по сооружению энергоблоков АЭС за рубежом



В рамках контрактов, заключённых Госкорпорацией «Росатом» по сооружению АЭС за рубежом, сотрудниками подразделений института выполнены следующие работы:

Для АЭС Островец, Беларусь:

- по договору с АО «АТОМПОРЕКТ» выполнена разработка материалов в состав заданий заводу-изготовителю (ЗЗИ) на технологические видеокadres для АРМ операторов пунктов управления энергоблоков № 1 и № 2 Белорусской АЭС;
- по договору с АО «АТОМПОРЕКТ» выполнена разработка материалов в состав заданий заводу-изготовителю (ЗЗИ) на режимные, информационные, обзорные видеокadres и видеокadres системы предоставления параметров безопасности (СППБ), видеокadres для АРМ операторов пунктов управления энергоблоков № 1 и № 2 Белорусской АЭС;
- по договору с ФГУП «Приборостроительный завод» осуществлена поставка оборудования для энергоблока № 2 Белорусской АЭС.

Для АЭС «Ханхикиви-1», Финляндия:

по договору с АО «АТОМПОРЕКТ» проведена разработка материалов в состав концепции управления технологическими процессами АЭС «Ханхикиви-1».

Для АЭС «Руппур» (Бангладеш), «Аккую» (Турция):

по договору с АО ЦКБМ проведено изготовление из давальческого сырья Заказчика и поставка АСТД для АЭС «Аккую» блок № 1 и 2 и АЭС «Руппур» блок № 1 и 2.

Для АЭС «ПАКШ-II» (Венгрия):

- по договору с АО «АТОМПОРЕКТ» проведена разработка проектной документации по программно-техническому комплексу верхнего уровня АСРК для проекта Блоков 5 и 6 АЭС «ПАКШ-II», Венгрия;
- по договору с АО «АТОМПОРЕКТ» выполнен функциональный анализ АЭС «ПАКШ-II».

Для Тяньваньской АЭС (КНР):

- по договору с АО «АТОМПОРЕКТ» выполнены работы по концепции управления, функциональному анализу АЭС и проектированию человеческого фактора энергоблоков № 7 и № 8 Тяньваньской АЭС на стадии технической проект;
- по договору с АО СНИИП оказаны консультационные услуги: «Функционирование, состав и структура системы АСРК и СКУД энергоблока № 3 Тяньваньской АЭС».

12.2 Участие в международных конференциях и совещаниях

Сотрудники отдела главного конструктора АСУТП участвовали в совещаниях по вопросам АСУ ТП энергоблоков АЭС, сооружаемых за рубежом:

- совещание по лицензированию в части учёта человеческого фактора АЭС «Ханхикиви-1» Хельсинки (Финляндия);
- прошли обучение по Учёту Человеческого Фактора (HFE) по NUREG 0711 с целью учёта при разработке документов по HFE для АЭС, сооружаемых за рубежом Хельсинки (Финляндия);
- переговоры по обсуждению не принятых технических комментариев NPPA к документации для АЭС «Эль-Дабаа» (Каир, Египет).

Сотрудники отдела исследований тяжёлых аварий участвовали в совещаниях по проектам АЯЭ ОЭСР TCOFF и «Внутрикорпусное удержания расплава» (IVMR):

- в шестом совещании руководства по проекту АЯЭ TCOFF, посвященном термодинамическому описанию топливного дебриса и продуктов деления на основе анализа сценариев тяжелой аварии на АЭС Фукусима-1 (Париж, Франция);
- в Международном семинаре по проекту «Внутрикорпусное удержания расплава» (IVMR) (г. Жуан-ле-Пин, Франция).

12.3 Научно-технические издания, публикации

В соответствии с планом работ на 2020 год отделом научно-технической информации были подготовлены к печати следующие издания.

ГОДОВОЙ ОТЧЁТ за 2019 год

Научное-техническое издание

УДК-621.039.577.056

ББК-31.46

ГОДОВОЙ ОТЧЁТ за 2019 – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2019. – 312 с.



Шестнадцатое официальное издание годового отчёта ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» включает в себя основные результаты научно-технической и производственной деятельности института за 2019 год.

В отчёте содержатся также социально-экономические показатели работы НИТИ, кадровый состав, структура института, сведения о награждениях и некоторых юбилейных датах.

СБОРНИКИ ТРУДОВ

Периодический рецензируемый научно-технический сборник

«ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК»

Научное издание

ISSN 2414–5726

Учредитель: ФЕДЕРАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

Федеральное государственное унитарное предприятие

«Научно-исследовательский технологический институт им. А. П. Александрова».



Вып. № 1 (19), 2020. – 79 с.

В рубрике «Информационные сообщения» коллектив ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» и редколлегия научно-технического сборника «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок» поздравляют члена редакционной коллегии Заслуженного деятеля науки Российской Федерации, доктора технических наук, профессора А.Я. Благовещенского со славным юбилеем – 90-летием со дня рождения и публикуют биографический очерк «Жизнь, посвященная атомной энергетике» о жизни и научной деятельности юбиляра.

В рубрике «Дискуссионные вопросы развития атомной энергетики» вниманию читателей предлагается статья «Перспектива реализации атомного теплоснабжения в России», подготовленная с участием А.Я. Благовещенского и посвященная рассмотрению важного направления использования атомной энергии для решения задач бытового теплоснабжения.

В рубрике «Стендовые испытания транспортных ЯЭУ» публикуется статья «Опыт эксплуатации систем воздействия на реактивность стенда КВ-1» с результатами, подтверждающими высокую ресурсную надёжность элементов системы управления и защиты реактора транспортной ЯЭУ. Отмечается, что результаты эксплуатации систем воздействия на реактивность, полученные за период эксплуатации стенда КВ-1, являются важной необходимой информацией для обоснования надежности систем воздействия на реактивность транспортных реакторов четвертого поколения.

В рубрике «Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ» публикуются статьи с результатами верификации расчётных кодов, разработанных для моделирования теплофизических процессов в реакторных установках с ВВЭР и нейтронно-физических процессов в реакторных установках с быстрым спектром нейтронов и газовым теплоносителем.

В статье «Подготовка и верификация модели для расчёта нейтронно-физических характеристик активных зон реакторов с быстрым спектром нейтронов и газовым теплоносителем» приведено описание и апробация нейтронно-физической модели, подготовленной с использованием комплекса программ САПФИР_РФ&РС, для расчёта малогабаритных быстрых реакторов с газовым теплоносителем. Представлены результаты верификации расчётной модели. Результаты верификационных расчётов продемонстрировали возможности применения комплекса программ САПФИР_РФ&РС для проведения расчётов реакторов с быстрым спектром нейтронов и газовым теплоносителем.

В статье «Расчёты по коду КОРСАР/CFD процессов перемешивания пробки конденсата при пуске циркуляционного насоса в модели реактора ВВЭР-1000 стенда ОКБ «ГИДРОПРЕСС» приведены данные о верификации расчётного кода КОРСАР/CFD по результатам экспериментов, моделирующих ситуации с поступлением в активную зону реактора ВВЭР-1000 пробки конденсата из гидрозатвора холодной нитки в случае возобновления циркуляции по одной петле. Представленные в статье результаты свидетельствуют об эффективности применения кода КОРСАР/CFD для моделирования влияния сложных пространственных течений теплоносителя в напорной камере на процессы перемешивания в режимах эксплуатации реактора типа ВВЭР с несимметричной работой петель теплообмена.

В рубрике «Исследование процессов при тяжелых авариях на объектах атомной энергетики»

публикуется статья «Исследование выхода продуктов деления из расплава кориума». В статье представлены результаты экспериментов по исследованию влияния температуры и индекса окисленности расплава кориума на скорость выхода малолетучих продуктов деления. Результаты представленной в статье работы актуальны при оценке распределения продуктов деления в условиях тяжелых аварий на АЭС.

Вып. № 2 (20), 2020. – 99 с.

В рубрике «Исследование динамики и создание технологий испытаний объектов с ЯЭУ» вниманию читателей предлагаются статьи, посвященные анализу опыта освоения и эксплуатации перспективных ЯЭУ средней и малой мощности.

В статье «Этапы реализации использования естественной циркуляции теплоносителя в корабельных ЯЭУ» продемонстрирована роль специалистов Военно-Морского Флота и консолидации усилий Заказчика, Научного Руководства и промышленности в успешном решении проблемы обеспечения надежности, безопасности и живучести корабельных ядерных энергетических установок на базе использования естественной циркуляции теплоносителя, не требующей работы энергопотребляющих механизмов.

В статье «Аналитический обзор опыта эксплуатации и современных разработок ядерных энергетических установок средней и малой мощности с жидкометаллическим теплоносителем. Часть 1 (Опыт эксплуатации)» представлен анализ мирового и отечественного опыта создания и эксплуатации ядерных энергетических установок с жидкометаллическим теплоносителем. Приведен анализ основных технических решений, реализованных в рассмотренных проектах.

В рубрике «Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ» публикуются статьи с результатами актуальными для валидации и верификации расчётных моделей, используемых, в том числе и при обосновании безопасности АЭС.

В статье «Моделирование экспериментов по определению эффективности органов регулирования на критическом стенде с быстрым спектром нейтронов» приведены результаты моделирования с целью верификации расчётной модели и исследования влияния методических особенностей измерения реактивности методом обращенного решения уравнения кинетики на результаты оценки эффективности органов регулирования.

В статье «Анализ и оценка неопределенности корреляции Грюневельда-Стюарта для расчёта минимальной температуры смачивания поверхности стенки» приведены результаты оценки неопределённости корреляции Грюневельда-Стюарта, используемой в программах для ЭВМ, предназначенных для теплогидравлических расчётов, в том числе и при обосновании безопасности АЭС на основе теплогидравлических экспериментов по отдельным процессам и явлениям в соответствии с рекомендациями Ростехнадзора.

В рубрике «Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования» публикуется статья «Разработка методик для оперативного контроля герметичности оболочек твэлов в процессе испытаний ЯЭУ транспортного назначения». В статье представлен опыт разработки методов оператив-

ного контроля герметичности оболочек твэлов по результатам радиохимического анализа проб технологических сред в процессе испытаний активной зоны ядерной энергетической установки транспортного назначения.

В рубрике «Влияние объектов атомной энергетики на окружающую среду» публикуется статья «Технико-экономический анализ возможных технологий опреснения морской воды с использованием энергии второго энергоблока АЭС «Бушер» (Иран)». В статье дан технико-экономическая оценка различных технологий опреснения воды на втором энергоблоке АЭС в Бушере. Актуальность статьи определяется целесообразностью и необходимостью развития технологий атомного опреснения в Иране, а практическая ценность – заключается в представленных в статье рекомендациях по выбору принципиальной схемы и состава оборудования опреснительной приставки ко второму энергоблоку АЭС «Бушер».

В рубрике «Исследование процессов при тяжелых авариях на объектах атомной энергетики» публикуется статья «Анализ устойчивости $USiO_4$ ». В статье представлены результаты экспериментального исследования композиций, отвечающих составу соединения $USiO_4$. Представленные в статье данные важны для уточнения фазовой диаграммы системы UO_2-SiO_2 , являющейся фундаментальной основой при создании новых материалов в области ядерной энергетики. Результаты также актуальны при разработке технологии создания ядерного топлива нового вида, обладающего рядом преимуществ с точки зрения повышения его устойчивости к тяжёлым авариям на АЭС

Вып. № 3 (21), 2020. – 87 с.

В рубрике «Исследование динамики и создание технологий испытаний объектов с ЯЭУ» вниманию читателей предлагается «Аналитический обзор опыта эксплуатации и современных разработок ядерных энергетических установок средней и малой мощности с жидкометаллическим теплоносителем. Часть 2 (Современные разработки)» с анализом мирового и отечественного опыта создания и эксплуатации ядерных энергетических установок с жидкометаллическим теплоносителем. В статье приведён анализ основных технических решений, реализованных в рассмотренных проектах.

В рубрике «Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ» публикуется статья «Расчётные исследования растекания теплоносителя в кольцевой камере реактора ВВЭР при радиальном вводе через патрубок» с анализом причин анизотропного растекания жидкости, формирующего трёхмерную картину течения в кольцевой камере реактора ВВЭР, которая, в свою очередь, определяет пространственное распределение температуры теплоносителя и концентрации борной кислоты на входе в тепловыделяющие сборки активной зоны.

В рубрике «Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования» публикуются статьи, посвящённые созданию технологий обеспечения и поддержания качества теплоносителей ЯЭУ.

В статье «Модульная мембранно-сорбционная установка получения обессоленной воды для теплоносителей ЯЭУ» приведено описание разработанной и изготовленной в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» автоматизированной модульной мембранно-сорбционной установки получения воды высокой чистоты для первичного заполнения и подпитки водного теплоносителя технологических контуров ЯЭУ транспортного назначения. В ра-

боте установки реализована усовершенствованная технология водоподготовки, позволяющая использовать в качестве исходной как хозяйственно-питьевую воду, так и солоноватые воды Копорской губы Финского залива.

Статья «Особенности нормирования и химического контроля теплоносителей тяжело-водных контуров реактора ПИК» посвящена обоснованию применимости отработанной в атомной энергетике методологии нормирования и аналитического контроля химических показателей качества легководного теплоносителя ЯЭУ к тяжело-водным теплоносителям реактора ПИК «НИЦ Курчатовский институт» – ПИЯФ с учётом различий физико-химических свойств лёгкой и тяжёлой воды.

В рубрике «Влияние объектов атомной энергетики на окружающую среду» публикуется статья «О необходимости разработки двухцелевых атомных энерготехнологических комплексов для обеспечения электрической энергией и пресной водой засушливых территорий Ирана». В статье предлагается несколько возможных схем сочетания АЭС с опреснительными установками, представлены результаты технико-экономического анализа вариантов двухцелевых комплексов применительно к потребностям Республики Иран. Подчеркивается и обосновывается необходимость разработок ядерно-опреснительных комплексов в Российской Федерации, обладающей существенными конкурентными преимуществами при выходе на мировые рынки атомного опреснения.

В рубрике «Исследование процессов при тяжёлых авариях на объектах атомной энергетики» публикуется статья «Численное моделирование термокинетических процессов взаимодействия жертвенного материала и расплава кориума при тяжёлых авариях реакторов на АЭС». В статье представлен пример комплексной формулировки модельных задач о взаимодействии жертвенного материала ловушки расплава активной зоны и расплава кориума и организации их сквозного расчёта в универсальной программной среде мультифизического моделирования COMSOL Multiphysics, что позволяет преодолеть ряд трудностей, свойственных более узкому подходу к задаче моделирования таких процессов.

Вып. № 4 (22), 2020. – 91 с.

В рубрике «Информационные сообщения» коллектив ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» и редколлегия научно-технического сборника «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок» публикуют информационное сообщение «От замысла к реализации», приуроченное к пятилетию поквартального издания выпусков научно-технического сборника «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок», а так же поздравление с юбилеем – 85-летием со дня рождения члену редакционной коллегии, признанному учёному и конструктору активных зон ядерных энергетических установок различного типа и назначения, Заслуженному деятелю науки Российской Федерации, доктору технических наук, профессору Олегу Борисовичу Самойлову.

В рубрике «Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ» публикуются статьи с результатами, актуальными для численного моделирования нейтронно-физических и теплогидравлических характеристик реактора.

В статье «Граничные условия в методе поверхностных гармоник» обсуждается эффективность применения граничных условий различного типа (вакуумные граничные условия Марка или Маршака) при численном моделировании нейтронно-физических характеристик реактора.

В статье «Расчёты по коду КОРСАР/CFD процессов перемешивания теплоносителя в модели реактора ВВЭР-1000 на стенде ОКБ «ГИДРОПРЕСС» при функционировании различного количества циркуляционных насосов» продемонстрировано влияние картины течения теплоносителя в кольцевой напорной камере ВВЭР на распределение концентрации борной кислоты на входе в активную зону.

В рубрике «Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования» публикуется статья «Вывод из эксплуатации стендовых установок по отработке технологий дезактивации и обращения с радиоактивными отходами для объектов ВМФ». В статье на примере ликвидации экспериментальных стендов по отработке технологий дезактивации и обращения с РАО для объектов ВМФ представлены методологические, технические и технологические аспекты опыта проведения работ по выводу из эксплуатации радиационно-опасного объекта. Результаты статьи актуальны для планирования и организации работ по выводу из эксплуатации ещё имеющих морально и физически устаревших «неядерных» радиационно-опасных объектов атомной отрасли и аналогичных объектов, имеющих иную ведомственную подчиненность.

В рубрике «Влияние объектов атомной энергетики на окружающую среду» публикуется статья «Тепловое влияние АЭС на изменение параметров микроклимата» с результатами оценки воздействия на окружающую среду башенных испарительных градирен для проектируемой Узбекской АЭС. В статье приведены результаты прогнозирования встречаемости паровоздушного шлейфа, затененности территории, поглощения суммарной солнечной энергии шлейфом, выпадения осадков из паровоздушного шлейфа и засоления территории.

В рубрике «Исследование процессов при тяжёлых авариях на объектах атомной энергетики» публикуется статья «Исследования, выполненные на комплексе экспериментальных установок «Расплав» отдела исследований тяжёлых аварий ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». В статье представлен обзор направлений и результатов экспериментальных работ по тяжёлым авариям АЭС, проводимых на комплексе экспериментальных установок «Расплав» в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». Результаты выполненных работ актуальны и используются для обоснования систем безопасности АЭС, повышения точности прогнозирования сценариев тяжёлых аварий АЭС, при разработке и обосновании функционирования в экстремальных условиях новых материалов атомной энергетики.

Распоряжением Минобрнауки России от 12 февраля 2019 года № 21-р научно-технический сборник включён в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

ПЕРИОДИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

ОТЧЁТ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Информационно-статистическое издание

УДК-621.039.577.056

ББК-31.46

Отчёт по экологической безопасности за 2019 год – Сосновый Бор:

ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2019. – 72 с.



В соответствии с приказом Госкорпорации «Росатом» от 25.09.2008 № 459 «Об утверждении Экологической политики Госкорпорации «Росатом» и её реализации» и приказом от 04.02.2010 № 90 «О совершенствовании реализации Экологической политики Госкорпорации «Росатом» в институте с 2009 года издается публичный ежегодный «Отчёт по экологической безопасности НИТИ». Отчёт направляется в Госкорпорацию «Росатом», администрацию Санкт-Петербурга, Ленинградской области, г. Сосновый Бор, а также в Территориальный отдел по г. Сосновый Бор ФМБА России.

В отчёте представлены основные сведения по Экологической политике НИТИ, намерениям и принципам соблюдения экологических показателей деятельности института, представляются основ-

ные документы, регулирующие природоохранную деятельность НИТИ, планируемые и проводимые институтом работы по внедрению систем экологического менеджмента и менеджмента качества.

В отчёте приводится информация о проводимом в НИТИ производственном экологическом контроле и его видах (в т.ч. АСКРО), а также об экологическом мониторинге, о деятельности и оснащении лабораторий инструментального контроля производственных и экологических факторов. Освещается экологическая и информационно-просветительская деятельность предприятия, включая взаимодействие с органами государственной власти и местного самоуправления, с общественными экологическими организациями, научными и социальными институтами и населением региона.

Основное внимание в отчёте уделяется сведениям о ежегодном воздействии деятельности института на окружающую природную среду и радиационном воздействии на население, приводятся результаты контроля радиационного состояния объектов окружающей среды, включая атмосферный воздух и атмосферные осадки, грунтовые воды, почву и растительность.

Приводимые в отчётах данные многолетней динамики активности годовых сбросов НИТИ, неизменно подтверждают безопасную работу стантовых установок предприятия.

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ СОТРУДНИКОВ ФГУП «НИТИ им. А.П. АЛЕКСАНДРОВА»

Публикации в научно-технических периодических изданиях в 2020 году

1. Исследование выхода продуктов деления из расплава кориума / С.В. Бешта, Е.В. Крушинов, С.А. Витоль, В.Б. Хабенский, С.Ю. Котова // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: периодический рецензируемый научно-технический сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2020. – Вып. 1(19). – С. 54–74.
2. Подготовка и верификация модели для расчёта нейтронно-физических характеристик активы зон реакторов с быстрым спектром нейтронов и газовым теплоносителем / В. Г. Артемов [и др.] // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: периодический рецензируемый научно-технический сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2020. – Вып. 1(19). – С. 29–39.
3. Расчёты по коду КОРСАР/CFD процессов перемешивания пробки конденсата при пуске циркуляционного насоса в модели реактора ВВЭР-1000 на стенде ОКБ «ГИДРОПРЕСС» / Ю.В. Юдов [и др.] // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: периодический рецензируемый научно-технический сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2020. – Вып. 1(19). – С. 40–53.
4. Моделирование экспериментов по определению эффективности органов регулирования на критическом стенде с быстрым спектром нейтронов / В.Г. Артемов [и др.] // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2020. – Вып. 2(20). – С. 27–40.
5. Расчётные исследования растекания теплоносителя в кольцевой камере реактора ВВЭР при радиальном вводе через патрубок / Ю.В. Юдов, С.Н. Румянцев, С.С. Чепилко // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2020. – Вып. 3 (21). – С. 32–41.
6. Разработка методик для оперативного контроля герметичности оболочек твэлов в процессе испытаний ЯЭУ транспортного назначения / Р.В. Фоменков [и др.] // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2020. – Вып. 2(20). – С. 54–64.
7. Анализ устойчивости $USiO_4$ / В.И. Альмяшев, В.В. Гусаров, В.Б. Хабенский // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2020. – Вып. 2(20). – С. 80–97.
8. Анализ и оценка неопределенности корреляции Грюневельда–Стюарта для расчёта минимальной температуры смачивания поверхности стенки / А.С. Грицай // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2020. – Вып. 2(20). – С. 41–53.
9. Модульная мембранно-сорбционная установка получения обессоленной воды для теплоносителей ЯЭУ / В.А. Василенко [и др.] // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2020. – Вып. 3(21). – С. 42–52.
10. Расчёты по коду КОРСАР/CFD процессов перемешивания теплоносителя в модели реактора ВВЭР-1000 на стенде ОКБ «ГИДРОПРЕСС» при функционировании различного количества циркуляционных насосов / Ю.В. Юдов, С.Н. Румянцев, С.С. Чепилко // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: периодический рецензируемый

научно-технический сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП НИТИ, 2020. – Вып. № 4 (22). – С. 26–41.

11. Вывод из эксплуатации стендовых установок по отработке технологий дезактивации и обращения с радиоактивными отходами для объектов ВМФ / А.М. Алешин, А.А. Афанасьев, А.А. Змитродан // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: периодический рецензируемый научно-технический сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП НИТИ, 2020. – Вып. № 4 (22). – С. 42–54.

12. Граничные условия в методе поверхностных гармоник / Ельшин А.В. // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: периодический рецензируемый научно-технический сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП НИТИ, 2020. – Вып. № 4 (22). – С. 14–25.

13. Исследования, выполненные на комплексе экспериментальных установок «Расплав» отдела исследований тяжёлых аварий ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» / В.И. Альмяшев [и др.] // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: периодический рецензируемый научно-технический сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП НИТИ, 2020. – Вып. № 4 (22). – С. 69–88.

14. Experimental study of oxidic-metallic melt oxidation / A.A. Sulatsky [et al.] // Nuclear Engineering and Design. – 2020. – V. 363. – С. 110618.

12.4 Управление интеллектуальной собственностью

В 2020 году получены патенты на изобретения:

Патент № 2717817 «Высокоградиентный магнитный фильтр с жесткой матрицей»

Автор: Гусев Б.А. (ОХТИ)

Патент № 2722967 «Устройство для воспроизведения и передачи единиц массовой концентрации газов в жидких средах»

Авторы: Горшков А.И., Мельниченко А.Н., Прохоркина О.В. (ОХТИ)



КОНКУРС НАУЧНЫХ И ИНЖЕНЕРНЫХ РАБОТ

Ко дню рождения академика Анатолия Петровича Александрова подведены итоги ежегодного конкурса научных и инженерных работ НИТИ за 2020 год, традиционно проводимого с целью повышения научного уровня, эффективности и качества выполняемых разработок и исследований, развития творческой инициативы и распространения передового опыта учёных и специалистов института.

Лучшими научными работами за 2020 год признаны

I место

«Разработка, верификация и практическое использование РК КОРСАР/ЖМТ».

Авторы: Волкова С.Н., Бенедиктов Д.В., Вакарин А.В., Данилов И.Г., Ярушина А.В. (ОТФИ).

Работа посвящена созданию и использованию расчётного кода для моделирования теплогидравлических процессов в реакторных установках с тяжёлым жидкометаллическим теплоносителем.

II место

«Экспериментальные исследования гипотетических тяжёлых аварий на перспективных реакторах со свинцовым теплоносителем».

Авторы: Альмяшев В.И., Витоль С.А., Крушинов Е.В., Хабенский В.Б., Шуваева Е.Б. (ОИТА)



Награждение коллектива Отдела теплофизических исследований, занявших 1 место в конкурсе научных работ

III место

«Исследования нейтронно-физических характеристик активной зоны реактора с быстрым спектром нейтронов в процессе физического пуска критического стенда «СКИФ».

Авторы: Артемов В.Г., Иванов А.С., Зинатуллин Р.Э., Карпов А.С., Нерсесян Н.С. (ОНФИ)

Лучшими инженерными работами за 2020 год признаны:

I место

«Разработка человеко-машинного интерфейса оперативного персонала для Ленинградской АЭС-2».

Авторы: Батанина С.В., Григорьев М.С., Кудицкий Ю.Н., Карпова Л.Е., Лукьянов Е.М., Маслова К.А., Павлюк А.И., Рючин В.В., Сергеева И.Н., Сидорчук А.С. (ОГК АСУТП)

В работе авторами были успешно решены сложные задачи компоновки средств управления по задачам и функциям АЭС, контролю безопасности эксплуатации станции, информационной поддержке операторов с учётом человеческого фактора при управлении АЭС. В процессе работы выполнен большой объём проектных работ, разработано около 1000 видеокадров и спроектированы малогабаритные мозаичные приборы контроля и управления. Работа соответствует мировому уровню и является значительным достижением ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в области создания гражданской продукции.

II место

«Разработка измерителя линейного импульсно-токового «ФАВОРИТ» для обеспечения проведения нейтронно-физических измерений и контроля ПОР».

Авторы: Малохатка В.В., Иванов С.И. (ОНФИ), Кутьин А.В. (ОДИ), Гурленова О.Е. (КО)

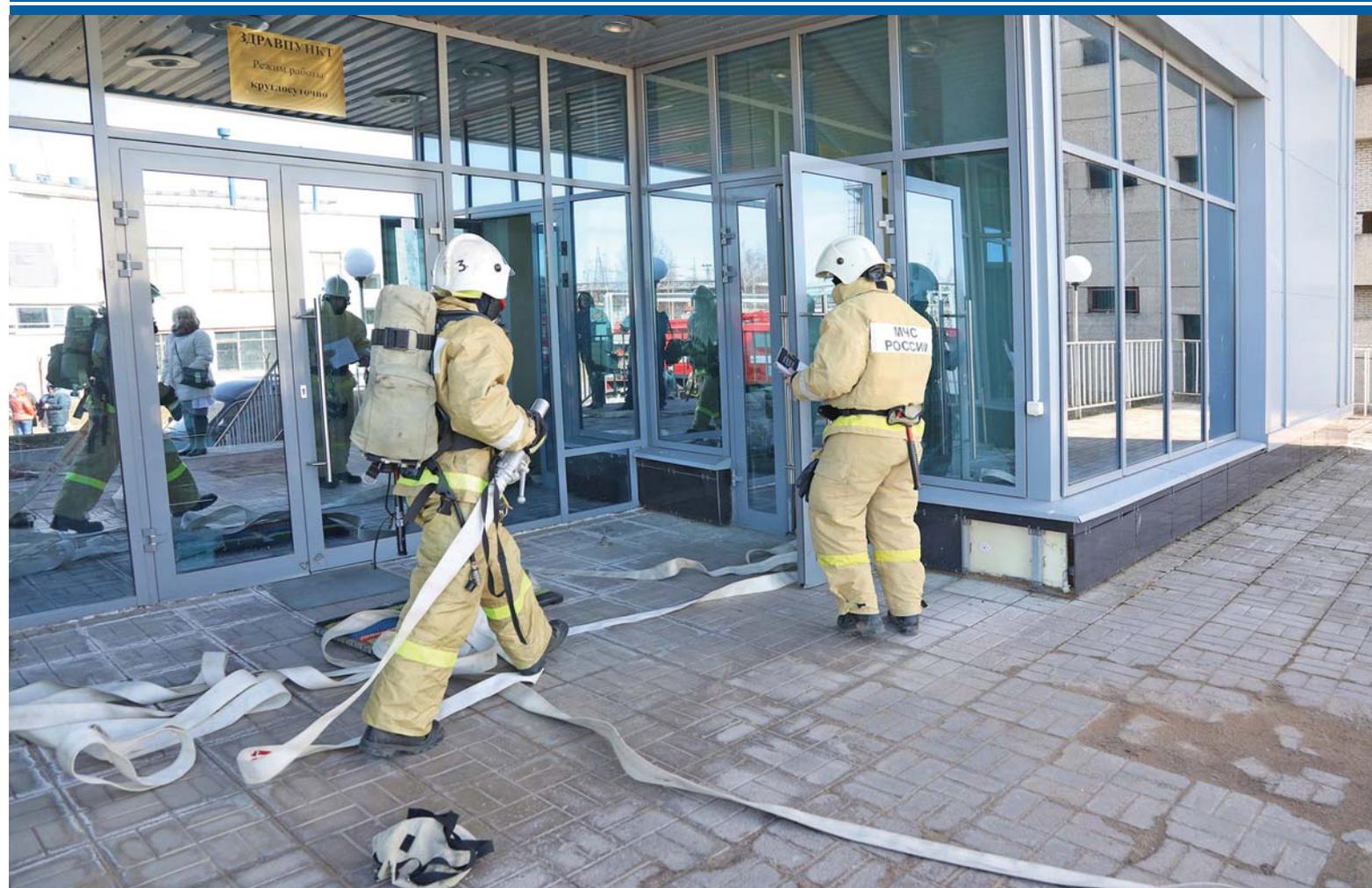


Награждение коллектива Отдела главного конструктора АСУТП, занявших 1 место в конкурсе инженерных работ

12.5 Участие специалистов НИТИ в семинарах и конференциях Госкорпорации «Росатом»

Конференции	Организатор. Место проведения	Дата
Семинар «Нормативно-информационное обеспечение жизненного цикла изделий военной техники при выполнении ГОЗ на базе стандартов СРПП ВТ, ЕСКД, ЕСТД и другие ДСОП».	ФГУП «ВНИИ «Центр» Москва	3–4 февраля
Семинар «Видение-2030»	ФГУП «ВНИИА» Москва	7–9 февраля
Участие в работе «Зимняя школа ПИЯФ»	НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ, г. Гатчина	10–15 март
Конференции «Вопросы защиты информации»	АО КЦ «Атомбезопасность» Москва	13–15 мая
Семинаре «Экология»	ЧОУ «Экологический учебный центр» Санкт-Петербург	1 апреля- 31 декабря
On-line семинаре «Удаленные аудиты систем менеджмента. Возможность и ограничения»	ООО «РРС» Москва	29 мая
Семинар «Оформление ТКП, применяемых для расчёта начально-максимальной цены»	АО «РАСУ» Москва	18 июня
On-line семинар «Практические вопросы казначейского и банковского сопровождения расчётов по госконтрактам и контрактам»	ООО «РФОП» Экономика и Управление» Москва	25–26 июня
Конференция «Теплофизика-2020»	АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» г. Обнинск	23–25 сентября
Семинар «Закупки работ в сфере строительства по Закону «44-ФЗ».	ООО «ЮРДЦ» Москва	28 сентября
On-line семинар «Порядок определения затрат и калькулирования себестоимости продукции, поставляемой по ГОЗ»	ООО «РФОП» Экономика и Управление» Москва	13–14 октября
Семинар (обучение) «Внутренний аудитор»	Ассоциация «ИВА» Москва	29 октября
IV Всероссийская конференция «Аналитическая хроматография и капиллярный электрофорез»	ООО «НТЦ «БиАСеп» г. Краснодар	1–3 октября
Научно-практический семинар «Особенности проведения патентных исследований в рамках работ по ГОЗ с учётом внесенных изменений в методические рекомендации»	ООО «ВКО-Интеллект» Москва	19 ноября
Участие в Конгрессе ИПБ-2020	НП «ИПБ России» Москва	26–27 ноября
On-line семинар «Порядок организации и проведение нормоконтроля конструкторской, технологической и нормативной документации»	ФГУП «ВНИИ «Центр» Москва	11–12 ноября
On-line семинар «Раздельный учёт ГОЗ и ФСБУ 5/2019: как совместить. Порядок перехода на новый стандарт бух. учёта «Запасы» в организациях, выполняющие ГОЗ»	ООО «Эксперт 275» Москва	26 ноября

13



13. Гражданская оборона и защита от чрезвычайных ситуаций

С.А. Шестопалов

Главной задачей по подготовке органов управления, сил гражданской обороны (ГО), предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в 2020 году было совершенствование знаний, навыков и умений, направленных на реализацию государственной политики в области ГО, снижение рисков ЧС как техногенного, так и природного характера, обеспечение безопасности сотрудников предприятия. Запланированные на 2020 год мероприятия по развитию и совершенствованию системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (СЧСО) в области защиты персонала и территории ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», предупреждения и ликвидация ЧС, смягчению их последствий в целом выполнены.

Задачи отдела по чрезвычайным ситуациям в 2020 году

Основные задачи и приоритетные направления деятельности отдела по ЧС ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в области защиты населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера, обеспечению пожарной безопасности:

- совершенствование практических навыков СЧСО по предупреждению и ликвидации ЧС и проведению аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСДНР) при проведении учений и тренировок в 2020 году;
- актуализация, корректировка и уточнение организационных документов;
- обеспечение постоянной готовности органов и пунктов управления;
- обеспечение готовности нештатных аварийно-спасательных формирований (НАСФ) и нештатных формирований гражданской обороны (НФГО);
- обеспечение готовности и работоспособности системы централизованного оповещения локальной системы оповещения (ЛСО) пятикилометровой зоны;
- поддержание постоянной готовности защитных сооружений (ЗС) ГО. Контроль за ходом строительства нового убежища;
- подготовка руководящего состава и органов управления СЧСО, обучение работников ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» действиям в ЧС.

Радиационная безопасность

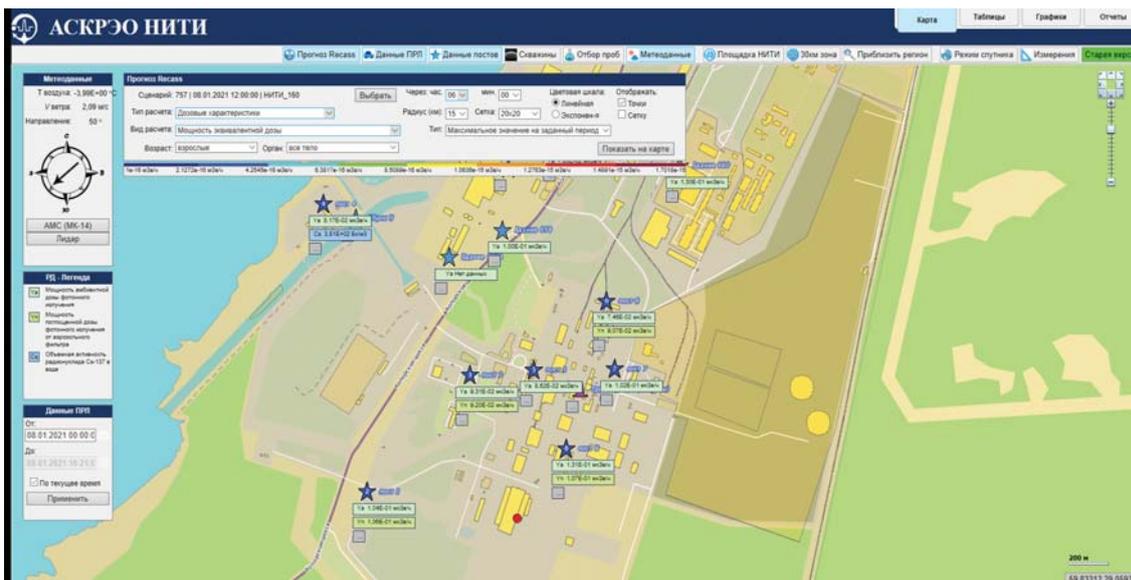
Анализ информации о событиях, подлежащих расследованию и учёту в соответствии с порядком и критериями, установленными нормативными правовыми актами, федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии и рекомендациями МАГАТЭ, показал, что в 2020 году:

- чрезвычайных ситуаций в институте не было;
- событий, важных для безопасности персонала института и населения и классифицируемых по Международной шкале ядерных событий INES, не было;
- количество отклонений в работе действующих исследовательских ядерных установок (ИЯУ) по «Положению...» № 15-30/2014-029П по сравнению с 2019 годом не изменилось.

Радиоэкологический мониторинг на промплощадке института (в санитарно-защитной зоне (СЗЗ)) и в зоне наблюдения (ЗН) осуществляется отделом радиационной безопасности (ОРБ) и отделом химико-технологических исследований (ОХТИ) и организуется как единая система наблюдений за источниками ионизирующих излучений института и путями распространения радиоактивных веществ в окружающей среде.

АСКРО – автоматизированная система контроля радиационной обстановки в СЗЗ НИТИ введена в эксплуатацию в 2015 году (Акт № 05-15-347А от 26.06.2015). Порядок представления информации ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в частное учреждение (ЧУ) ситуационно-кризисный центр (СКЦ) Госкорпорации «Росатом» в рамках отраслевой АСКРО Госкорпорации «Росатом» утверждён Генеральным инспектором Госкорпорации «Росатом» 21.12.2015.

Для контроля воздействия деятельности института на окружающую среду выполняется производственный радиационный контроль соблюдения установленных нормативов, включающий радиоэкологический и дозиметрический контроль воздушной, водной сред, грунтовых вод и снежного покрова.



Карта постов АСКРО ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»

Ввод в действие в полном объёме АСКРО обеспечит непрерывный контроль радиационной обстановки в СЗЗ и ЗН во всех режимах эксплуатации стендовых установок, включая проектные и запроектные аварии, с целью получения достоверной информации для предупреждения облучения персонала и отдельных лиц населения, загрязнения природной среды выше допустимых норм, а также позволяющей принять оперативные решения, направленные на снижение уровня облучения персонала в случае аварии.

Пожарная безопасность

В 2020 году, в результате проведенного комплекса организационных и технических мероприятий, пожаров на территории промышленной площадки и на объектах производственного и социального назначения ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» не допущено.

Силы и средства ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» и специальной пожарно-спасательной части № 3 (СПСЧ) Специального отдела №1 федерального государственного казенного учреждения (ФГКУ) «Специальное управление ФПС (федеральная противопожарная служба) № 50» МЧС России к борьбе с лесными и природными пожарами не привлекались.

В целях обеспечения пожарной безопасности института был разработан и утверждён приказом института от 23.12.2019 № 19/980-П План мероприятий по обеспечению пожарной безопасности подразделений института на 2020 год.

В целях профилактики ЧС и повышения устойчивости функционирования института проводятся следующие организационные и инженерно-технические мероприятия:

- техническое обслуживание (ТО) и планово-предупредительный ремонт (ППР) установок противопожарной защиты в основных производственных и административных зданиях согласно графику проведения ТО и ППР установок противопожарной защиты объектов автоматической установки пожарной сигнализации (АУПС), системы оповещения, управления, эвакуации (СОУЭ) и системы автоматической установки пожаротушения (АУПТ) ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» на 2020 год;
- модернизация электроэнергетической системы, систем телеметрии;
- техническое перевооружение и развитие опытно-экспериментальной базы института;
- поддержание в готовности пожарных водоводов.

Контроль пожарной безопасности обеспечивается применением пожарной сигнализации, а при обнаружении нарушений пожарной безопасности, включением автоматических систем пожаротушения.

Основные решения, принятые на заседаниях комиссии по ЧС и ПБ (КЧСиОПБ) института в 2020 году:

- заблаговременное проведение мероприятий по профилактике ЧС;
- совершенствование сил и средств единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) для ликвидации ЧС;
- снижение возможного ущерба от ЧС;
- обеспечение безопасности персонала.

В ходе заседаний комиссии и при принятии решений особое внимание обращалось на активизацию работы с руководителями подразделений по вопросам обеспечения безопас-

ности персонала, разработку планов по предупреждению и ликвидации ЧС, создание ЛСО, подготовку НАСФ, создание резервов материальных и финансовых средств.

Подготовка формирований и персонала института к ликвидации ЧС

Вопросы повышения готовности сил и средств СЧСО к ликвидации ЧС всегда находятся в центре внимания при планировании и проведении всех учебных мероприятий.

В соответствии с «Планом основных мероприятий ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в области гражданской обороны на 2020 год» в феврале и июне 2020 года в институте проведены этапы командно-штабных учений (КШУ) на тему: «Действия руководства, персонала института и взаимодействующих органов при радиационной аварии и пожаре в условиях угрозы совершения террористического акта».

В ходе учения отработаны следующие основные вопросы:

1. Совершенствование организации физической защиты института в условиях угрозы совершения террористического акта.
2. Совершенствование практических навыков членов КЧСиОПБ института, командного состава НФГО, руководителей подразделений в управлении действиями сил при решении задач по защите персонала объекта от опасностей, возникающих в мирное и военное время, отработка действий по сигналам оповещения.
3. Организация взаимодействия с аварийно-спасательным формированием аварийно-технического центра Госкорпорации «Росатом» (АСФ АО «АТЦ Росатома») при ведении радиационной разведки и выполнении АСДНР на территории института.
4. Оценка реальности «Плана мероприятий по защите персонала и населения в случае радиационной аварии» и «Плана ГО». Проверка готовности сборного эвакуационного пункта № 6 к развертыванию и проведению эвакуации.
5. Информационное взаимодействие с АО «АТЦ Росатома» по организации АСДНР на промплощадке института.

В рамках КШУ-2020 проведены следующие этапы учений:

Первый этап: «Действия персонала института, войсковой части 3705 национальной гвардии (ВНГ) Российской Федерации, взаимодействующих органов ФСБ и МВД России при проникновении (при попытке проникновения) нарушителя на охраняемый объект (с объекта) и при ликвидации последствий радиационной аварии и пожара на охраняемом объекте».

Персонал физической защиты, подразделения охраны, взаимодействующие органы, непосредственно участвующие в учении, поставленные задачи выполнили, действовали согласно Плану действий и Плану взаимодействия. Обеспечен переход функционирования системы физической защиты из штатного режима функционирования в режим функционирования при ЧС.

В ходе проведения первого-второго этапов учения (светлое время суток) отработана вводная: «Действия персонала института, сил охраны и взаимодействующих органов ФСБ России и МВД России при обнаружении в воздушном пространстве охраняемой территории беспилотного летательного аппарата (БПЛА)».

Действия персонала физической защиты, в том числе подразделений охраны и взаимодействующих органов оцениваются: «ХОРОШО».

Второй этап: «Отработка действий при введении состояния «Аварийная обстановка», взаимодействие с АСФ АО «АТЦ Росатома» при ведении радиационной разведки и выполнении АСДНР на территории института.

К действиям по ликвидации последствий ЧС фактически были привлечены АСФ АО «АТЦ Росатома». Робототехнический комплекс (РТК) «Торнадо» АО «АТЦ Росатома» практически осуществил закрепление и фиксацию макета ТВС посредством «удавки» для дальнейшего подъёма.



РТК «Торнадо» осуществляет закрепление и фиксацию макета ТВС



Пункт дезактивации РТК «Торнадо»



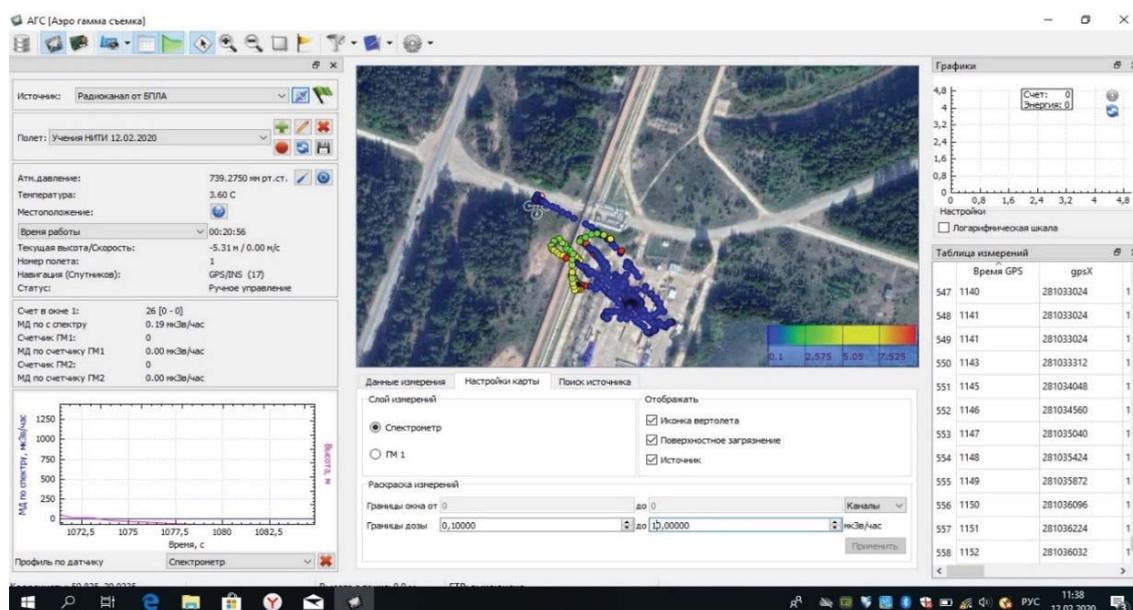
Спасатели штатного аварийно-спасательного формирования «САБ» открывают бассейн выдержки для укладки ТВС

В ходе проведения второго этапа учения (светлое время суток) была отработана вводная: «Организация контроля за радиационной обстановкой с использованием технических средств АСФ АО «АТЦ Росатома» (беспилотный комплекс аэро-гамма- съёмки на базе промышленного квадрокоптера DJI Matrice 210 RTK)».



Запуск промышленного квадрокоптера DJI Matrice 210 RTK

Лаборатория неразрушающего контроля НИТИ подготовила и разместила на территории института источники ионизирующих излучений (ИИИ). В период полёта проведена радиационная разведка и картирование по маршруту полёта, составление карты загрязнённости обследуемой территории с изолиниями по уровням мощностей доз на территории объекта.



Видеокадр результатов аэро-гамма- съёмки

На территории здания КМС силами АО «АТЦ Росатома» развёрнут подвижный пункт дезактивации. Личный состав СПСЧ № 3 и нештатного аварийно-спасательного формирования «САБ» прошёл дозиметрический контроль. Техника, принимавшая участие в АСДНР, практически дезактивирована.



Подвижный пункт дезактивации АО «АТЦ Росатома»



Показательные выступления сотрудников АО «АТЦ Росатома»

На втором этапе учения отработано три вводных. Привлечены непосредственно на отработку цели учения личный состав АО «АТЦ Росатома», НФГО института, НАСФ «САБ», дежурный караул СПСЧ № 3, применялась спецтехника.

По результатам учений проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ оценено на «ХОРОШО», организация практического взаимодействия АСФ АО «АТЦ Росатома» с КЧСиОПБ, начальником смены КВ-1, исполнителями АСДНР на месте ЧС оценена на «ОТЛИЧНО».

Третий этап: июню 2020 года, «Отработка действий персонала института и личного состава СПСЧ №3 при возникновении пожара и эвакуации персонала из здания с массовым пребыванием людей. Задействованы штатный штаб пожаротушения института, персонал СФЗ, личный состав в/ч 3705 ВНГ, НФГО «ГООП» (для обеспечения безопасности при эвакуации), дежурный караул СПСЧ № 3, спецтехника.

По результатам проведенных учений сделаны выводы:

1. Учебные цели КШУ-2020 – достигнуты.
2. Уровень подготовки и проведения этапов КШУ-2020 – «ХОРОШО».

Объектовые тренировки по тушению условного лесного пожара

В мае 2020 года проведена объектовая тренировка по тушению условного лесного пожара. Тема: «Руководство действиями при тушении лесного пожара на территории института» (План мероприятий по подготовке ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» к пожароопасному периоду 2020 года, утверждён 05.04.2020 года). В тренировке были задействованы личный состав СПСЧ № 3 и ДПД института, спецтехника.

Цели тренировки достигнуты. Общая оценка – «ХОРОШО».

В октябре 2020 года на предприятии проведена объектовая тренировка на тему: «Действия «Противопожарной службы» ГО института по ликвидации лесного пожара». В тренировке были задействованы личный состав СПСЧ № 3 и ДПД института, спецтехника. Цели тренировки достигнуты. Общая оценка – «ХОРОШО».

Штабная тренировка по гражданской обороне

Тема: «Организация выполнения мероприятий по гражданской обороне на территории Российской Федерации»

В октябре 2020 года институт принял участие в штабной тренировке по гражданской обороне. С органами местного самоуправления МО Сосновоборский городской округ ЛО было налажено информационное взаимодействие. Учебные цели тренировки достигнуты. Общая оценка – «ХОРОШО».

Планирование основных мероприятий в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах

«План основных мероприятий ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в области гражданской обороны, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на 2021 год» разработан и согласован Начальником отдела гражданской защиты комитета по общественной

безопасности и информации администрации Сосновоборского городского округа и утверждён Генеральным директором института.

«План мероприятий по обеспечению пожарной безопасности подразделений института на 2021 год» – разработан в декабре 2020 года и утверждён приказом института. В приказе, в целях обеспечения пожарной безопасности института, руководителям подразделений предписано обеспечить выполнение мероприятий в указанные сроки и обеспечить систематический контроль за исправным состоянием всех средств обнаружения и тушения пожара и содержанием их в постоянной боевой готовности, поддержанием надлежащего противопожарного режима в подразделениях.

Участие СЧСО в предупреждении и ликвидации чрезвычайных ситуаций

Организационно-штатная структура объектового звена РСЧС института определена приказом института от 06.07.2009 №465, приказ актуализирован в 2020 году (приказ института от 17.01.2020 № 20/30-п).

Координационным органом управления объектового звена РСЧС института функциональной подсистемы ОСЧС Госкорпорации «Росатом» является комиссия по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности института (КЧСиОПБ) (приказ института от 03.08.2018 № 18/446-П). Председатель КЧСиОПБ – генеральный директор института.

Постоянно действующим органом управления института является Отдел по чрезвычайным ситуациям института (Положение об отделе по ЧС утверждено генеральным директором института 13.07.2020). Руководство отделом по ЧС осуществляет начальник отдела.

Органом повседневного управления СЧСО является Дежурно-диспетчерская служба института, которая также является основным органом оперативного реагирования на возможные чрезвычайные (нештатные) ситуации, а также органом информационного обеспечения.

В соответствии с приказом института от 21.07.2011 № 11/550 в институте сформирована дежурно-диспетчерская служба (ДДС) и введено круглосуточное оперативное дежурство, которое обеспечивается персоналом в составе пяти человек.

В 2020 году переработаны должностные инструкции оперативного дежурного института и старшего оперативного дежурного.

С целью повышения эффективности процессов предупреждения и ликвидации ЧС постоянно проводится работа по созданию объектовой структурированной системы мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (ОСМИС НИТИ).

Дежурно-диспетчерская служба принимала непосредственное участие во всех основных мероприятиях по совершенствованию органов управления СЧСО и готовности их к ликвидации ЧС в отчётном году.

Порядок ведения информационного обмена в области ГО между ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» и органами местного самоуправления утверждён Постановлением Администрации муниципального образования Сосновоборский городской округ Ленинградской области. Постановление от 19.10.2009 № 1731 «О порядке сбора и обмена в муниципальном образовании Сосновоборский ГО ЛО информацией в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». Постановлением от 07.02.2020 № 251 внесены изменения в постановление администрации Сосновоборского ГО от 26.03.2013 № 820 «О создании Единой-диспетчерской службы Сосновоборского ГО».

Оповещение органов управления СЧСО и работников организаций. Развитие технических систем оповещения органов управления СЧСО и работников организаций

Локальная система оповещения ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» выполнена с учётом существующей в районе её расположения инфраструктуры оповещения. В связи с этим в соответствии с п. 1 Постановления Правительства Российской Федерации от 1.03.1993 №178 локальная система оповещения ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» выполнена как зона №8. Зональный пост № 8 ЛСО ЛАЭС и радиопередающее устройство поста размещается в административном здании института.

В мае 2017 года подписано Решение о совместном использовании группой потенциально опасных объектов (ПОО) (филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Ленинградская атомная станция», ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», Ленинградского отделения филиала «СЗТО» ФГУП «РосРАО») технических средств ЛСО пяти километровой зоны филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Ленинградская атомная станция».

Объектовая система оповещения (далее – ОСО) ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» является частью системы управления ГО и ЧС и представляет собой организационно-техническое объединение сил и специальных технических средств оповещения, сетей вещания, каналов сетей связи общего пользования и ведомственных сетей связи. Для ОСО предусмотрен комплекс технических средств оповещения на базе аппаратуры типа П-166 и СГС-22М. Сигналы управления и оповещения выдаются в ОСО с помощью пульта управления, расположенного в здании 167 из помещения дежурной диспетчерской службы (ДДС) института. ОСО введена в эксплуатацию 25.09.2014 актом приёмо-сдаточных испытаний № 16-19/1853.

Все составляющие элементы локальной системы оповещения находятся в технически исправном состоянии. Работоспособность электросирен, абонентских устройств и громкоговорителей проверяется еженедельно.

Организация оповещения и связи предусматривает передачу информации и оповещения в случае аварии или радиационно-опасной ситуации с момента объявления состояния «Аварийная готовность!» и/или «Аварийная обстановка!» в соответствии с «Положением об информационном взаимодействии организаций Госкорпорации «Росатом» с ЧУ «СКЦ Росатома», «Положением о порядке расследования и учёта нарушений в работе ИЯУ», «Планом мероприятий по защите персонала и населения в случае радиационной аварии» и «Планом действий по предупреждению и ликвидации ЧС природного и техногенного характера».

Оповещение руководящего состава, входящего в состав КЧСиОПБ, при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций, аварий и стихийных бедствий производит оперативный дежурный института через дежурного телефониста с использованием многоканальной системы автоматического оповещения типа «Рупор».

Запуск системы «Рупор» осуществляет дежурный автоматической телефонной станции (АТС). Проверка системы «Рупор» осуществляется в конце каждого месяца.

Оповещение остального руководящего состава, руководителей структурных подразделений производит дежурный автоматической телефонной станции (АТС) по решению генерального директора института в объёме, необходимом для решения задач по предупреждению и ликвидации последствий ЧС.

Оповещение персонала осуществляется по всем существующим системам связи и оповещения путём подачи установленных сигналов и подачей сигнала «Внимание Всем!».

Во втором квартале 2019 года завершены работы по созданию канала связи для сопряжения ЛСО НИТИ и ОСМИС НИТИ с системами верхнего уровня (комплексная система экстренного оповещения населения (КСЭОН) и региональной автоматизированной системы центрального оповещения (РАСЦО)) на базе оптоволоконной линии. Данное сопряжение выполнено в соответствии с техническими условиями № 327 от 26.10.2017 года. Приёмка сопряжения в эксплуатацию осуществлена с участием представителей группы кризисного управления (ГКУ) «Объект 58 правительства ленинградской области», составлен акт «О приёмке сопряжения локальной системы оповещения с РАСЦО ЛО» от 10.10.2019 года.

ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» передаёт в ЧУ «СКЦ Росатома» данные радиационного и метеорологического мониторинга (текущие значения измеряемых физических величин, характеризующих состояние окружающей среды) от всех датчиков радиационного и метеорологического мониторинга объектовой АСКРО института.

По результатам анализа неоднократно проведённых тренировок и учений по действиям в чрезвычайных (нештатных) ситуациях можно сделать вывод, что существующая локальная система оповещения обеспечивает своевременное оповещение и информирование работников ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» об угрозе и возникновении чрезвычайных (нештатных) ситуаций.

Вывод

Уровень готовности объектовой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, подготовки членов КЧСиОПБ ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», готовность личного состава НАСФ «САБ» и НФГО, состояние систем управления, связи и оповещения, уровень радиационной и химической защиты работников института, а также проведенный комплекс организационных и инженерно-технических мероприятий в отчётном 2020 году, позволил решать задачи направленные на предупреждение чрезвычайных ситуаций и обеспечение готовности к ликвидации последствий в случае их возникновения.

14

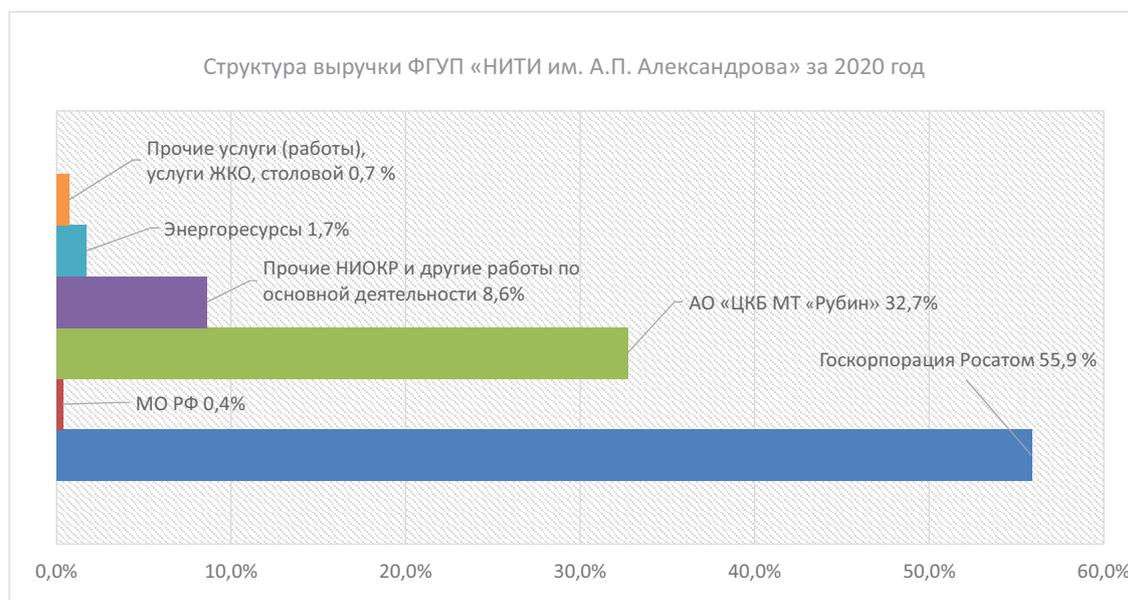


14. Социально-экономическое развитие

14.1 Основные итоги деятельности предприятия

О.Р. Борисова

Основной деятельностью института является выполнение и соисполнение государственного заказа – 88,9 % от общего объёма работ.



Заработная плата и численность персонала

За 2020 год среднемесячная заработная плата составила 93 988 руб. (в т.ч. ППП – 96 171 руб.).

Средняя численность работников предприятия за 2020 год составила 2087,9 чел., в т.ч. ППП – 1 990,8 чел.

В 2020 году ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» затратил на мероприятия и работы по улучшению охраны труда и техники безопасности 22 542 тыс. руб.

14.2 Работа по подготовке и развитию персонала под стратегические задачи института

А.Н. Голубцов

В 2020 году отдел обучения и развития (ООиР) выполнял задачи по подготовке и развитию персонала под стратегические задачи института, принимал участие в организации процедур оценки и аттестации сотрудников, в проведении работ по наставничеству.

Организованы повышение квалификации, переподготовка и подготовка по профессии для 345 сотрудников института, из них 68 руководителей, 141 специалист и 136 рабочих. Затраты на оплату обучения составили 8 219 000 руб., при этом затраты на обучение, проведенное в связи с требованиями нормативно-правовых документов, составили 4 855 000 руб.

В условиях пандемии значительно увеличена (до 35 %) доля обучения, проведенного дистанционно с применением цифровых технологий. В проведении обучения были задействованы ведущие учебные организации такие, как ФГАОУ ВО СПбПУ, АНО «Корпоративная Академия Росатома», АНО ДПО «Техническая академия Росатома», ФГБУ ВНИИПО МЧС России. В целях подготовки квалифицированных кадров в 2020 году НИТИ заключил шесть целевых договоров с ВУЗами Санкт-Петербурга. Всего по договорам с НИТИ для получения высшего образования прошли обучение 25 человек, из них 14 сотрудников института. На оплату целевой подготовки специалистов НИТИ выплатил в 2020 году 1 725 тысяч руб.

В 2020 году с участием ООиР 269 сотрудников НИТИ прошли оценочные процедуры на соответствие занимаемой должности и определение профессионального статуса работника. 126 руководителей различного уровня имеют карты КПЭ и прошли процедуру оценки эффективности деятельности «Рекорд».

В целях подбора и адаптации персонала института в 2020 году ООиР проведена работа по организации производственной практики для 30 учащихся высших и средних профессиональных образовательных организаций.

С 17 по 28 февраля 2020 года ООиР организован и проведен конкурс профессионального мастерства среди водителей на звание «*Лучший водитель НИТИ 2020*», посвященный 75-летию атомной отрасли. Призеры конкурса отмечены грамотами генерального директора института и поощрены денежными премиями.

Сотрудники института при организационной помощи ООиР успешно участвуют во Всероссийском конкурсе «Инженер года», ежегодно проводимом Российским Союзом научных и инженерных общественных объединений. Сотруднику ОМИ инженеру первой категории Д.С. Гутову, принявшему участие в конкурсе по версии «Профессиональные инженеры» – номинация «Атомная энергетика», вручен Значок и Сертификат «Профессионального инженера России».

В направлении профориентационной работы за отчетный год ООиР организовал и провел четыре экскурсии на КМС для учащихся 10 классов общеобразовательных школ города Сосновый Бор. Учащиеся смогли ознакомиться с деятельностью института, с перечнем профессий, востребованных в НИТИ, с рабочими местами специалистов и уникальным оборудованием для отработки и испытаний атомных реакторов. В экскурсиях приняли участие 116 школьников.

ООиР участвовал в проведенном II Международном форуме-фестивале *«Созвездие городов АЭС»* с 09 по 16 ноября 2020 года. От НИТИ были предоставлены экспонаты для выставок, проводимых Центром развития творчества г. Сосновый Бор.

Специалисты ООиР также организуют работу по участию сотрудников НИТИ в ежегодных отраслевых конкурсах Госкорпорации «Росатом» *«Человек года Росатома»*.

26 и 27 мая 2021 года в г. Сочи прошло награждение финалистов программы «Человек года «Росатома» за 2019-й и 2020-й годы, проведенной в дивизиональных, общекорпоративных и специальных номинациях Госкорпорации. В мае 2020 года собрать победителей программы «Человек года Росатома 2019» помешал карантин.

В специальной номинации генерального директора Госкорпорации «Росатом» «За укрепление международного авторитета» третье место заняла кроссдивизиональная команда учёных и специалистов из АО «ГНЦ НИИАР», АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», АО «Техснабэкспорт», ФГУП «ПО «Маяк» и нашего института с работой, посвященной разностороннему исследованию топливо-содержащих материалов, образовавшихся после аварии на АЭС «Фукусима-Дайичи», а также по созданию системы газоочистки при проведении работ по их извлечению. В работе впервые дан прогноз состояния кориюмного дебриса АЭС Фукусима-1 на 50 лет.

Среди членов кроссдивизионального коллектива начальник отдела исследований тяжёлых аварий (ОИТА) ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» В.И. Альмяшев. Команда специалистов НИТИ смогла в сжатые сроки провести синтез и физико-химические исследования образцов прототипного урансодержащего топливного дебриса различного состава и передать синтезированные образцы для проведения дальнейшей работы в АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» и АО «ГНЦ НИИАР».



Коллектив сотрудников НИТИ, участвующих в исследованиях топливо-содержащих материалов, образовавшихся после аварии на АЭС «Фукусима-Дайичи»



РОСАТОМ
ЧЕЛОВЕК ГОДА 2019



НОМИНАЦИЯ «ЗА УКРЕПЛЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНОГО АВТОРИТЕТА»

НОМИНАНТ # 3 (для команд более 6 человек)



ФИО	ДОЛЖНОСТЬ	СТАЖ	Д/Р
Алой Альберт Семёнович	Главный научный сотрудник, Радиевый институт	47	12.07.1944
Рябков Дмитрий Викторович	ЗГД по науке, Радиевый институт	18	15.08.1978
Погляд Сергей Степанович	Эксперт по научным разработкам ОРТ, АО «ГНЦ НИИАР»	19	08.01.1980



ФИО	ДОЛЖНОСТЬ	СТАЖ	Д/Р
Дмитриева Ольга Сергеевна	Начальник лаборатории, АО «ГНЦ НИИАР»	18	18.03.1980
Альмяшев Вячеслав Исхакович	Начальник отдела, НИТИ	21	20.09.1976
Истомин Игорь Александрович	инженер-технолог-химик-исследователь первой категории ФГУП «ПО МАЯК»	28	21.01.1967

СУТЬ ИНИЦИАТИВЫ ИЛИ ПРОЕКТА, БЛАГОДАРЯ КОТОРЫМ УДАЛОСЬ ДОСТИЧЬ МЕЖДУНАРОДНОГО ПРИЗНАНИЯ
Впервые проведены эксперименты по изучению расплавов топливо-содержащих материалов, образовавшихся после аварии на АЭС «Фукусима-Дайичи», а также по созданию системы газоочистки при извлечении расплавленного топлива. Данные эксперименты дают основу для безопасного обращения с ОЯТ, позволяя научно обосновать их свойства и поведение в будущем для более эффективной ликвидации последствий аварии.

Амбициозность целей

Амбициозность целей проводимых исследований заключается в разработке долговременного прогноза изменения физико-химического состояния топливо-содержащих материалов АЭС «Фукусима-Дайичи» с шагом в десять лет, а также создания методики резки образцов ОЯТ и изучения свойств образующейся пыли. Это позволяет смоделировать, как будут вести себя образованные в результате аварии топливо-содержащие материалы в будущем, разработать и внедрить оптимальную стратегию по обращению с ними.

Комплексность работы по своему охвату является беспрецедентной в мировой практике и включает: изготовление килограммовых полностью проплавленных образцов силикатсодержащего кориума, исследование их первичных свойств, исследование процессов старения в трех средах, разработка прогнозной математической модели с учетом всех данных. Ранее никто не брался за данные работы в силу их повышенной опасности и непредсказуемости (материалы содержат силикатные стеклофазы, которые менее устойчивы).

Несмотря на уникальность работ и высокий риск, разработанная программа-методика исследования и изготовленные образцы позволили реализовать все цели проекта этапа 2019 года.

Масштабность влияния

Проводимые исследования позволяют спрогнозировать будущее поведение материалов, образовавшихся в результате аварии на АЭС «Фукусима-Дайичи», что влияет на безопасность и успешность ликвидации последствий данной аварии. Специалисты разработали систему сбора пыли при извлечении расплавленного топлива, что является большим шагом для более эффективного обращения с ОЯТ АЭС «Фукусима-Дайичи».

Суть инициативы выдержала конкуренцию с проектами мировых лидеров по тяжелым авариям на АЭС, что позволило укрепить позиции ГК «Росатом» на японском рынке и повысить свой международный престиж в этой чувствительной области.

В ходе очной защиты японская сторона крайне высоко оценила результаты проекта и согласовала продолжение работ.



Награждение победителей отраслевого конкурса Госкорпорации «Росатом» в номинации «За укрепление международного авторитета»

14.3 Поощрения, награды

Список сотрудников, награждённых в 2020 году

УКАЗОМ ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ за значительный личный вклад в разработку и создание специальных изделий, укрепление обороноспособности страны и многолетний добросовестный труд награждены:

Орденом «Почёта»

Кудицкий Юрий Никитович	Начальник лаборатории
-------------------------	-----------------------

Почётной грамотой Президента РФ

Ефимов Юрий Михайлович	начальник службы
Пукалов Константин Павлович	начальник службы
Селичев Вячеслав Олегович	главный инженер отдела
Юшков Сергей Валентинович	начальник службы

Благодарностью Президента РФ

Горбатюк Владимир Олегович	начальник смены
Дмитриев Алексей Леонидович	учёный секретарь института
Кононов Виктор Анатольевич	главный инженер отделения

Премией Правительства РФ в области науки и техники

Витин Сергей Петрович	начальник отделения
-----------------------	---------------------

Почётным званием «Почётный гражданин Ленинградской области»

Василенко Вячеслав Андреевич	генеральный директор института
------------------------------	--------------------------------

Нагрудным знаком «Академик И.В. Курчатов» 4 степени

Батраков Сергей Васильевич	начальник лаборатории
Пыхтеев Олег Юрьевич	помощник генерального директора-руководитель департамента стратегического развития

Нагрудным знаком «За заслуги перед атомной отраслью» 3 степени

Борисова Ольга Рудольфовна	начальник департамента
Иорданский Михаил Юрьевич	начальник отдела
Щипалкин Олег Николаевич	начальник отдела



Генеральный директор Государственной корпорации по атомной энергии А.Е. Лихачёв вручает Почётные награды сотрудникам института

Нагрудным знаком «За вклад в развитие атомной отрасли» 1 степени

Иванов Александр Александрович	главный инженер института
--------------------------------	---------------------------

Нагрудным знаком «За вклад в развитие атомной отрасли» 2 степени

Виногоров Николай Александрович	ведущий научный сотрудник
Петров Николай Михайлович	начальник лаборатории
Ушатинский Владимир Николаевич	начальник группы

Медалью «75 лет атомной отрасли России»

Акимов Анатолий Давыдович	начальник группы
Артемова Людмила Михайловна	старший научный сотрудник
Барышников Андрей Сергеевич	начальник группы
Булей Александр Владимирович	слесарь-ремонтник
Вилков Николай Яковлевич	ведущий научный сотрудник
Гальцов Сергей Никифорович	слесарь по контрольно-измерительным приборам и автоматике
Годон Леонид Адамович	инженер 2 категории
Горбатюк Владимир Олегович	начальник смены
Грановский Владимир Семенович	ведущий научный сотрудник
Гурленова Ольга Евгеньевна	ведущий инженер-конструктор
Гусев Борис Александрович	ведущий научный сотрудник
Дуда Антонина Алексеевна	инженер 2 категории
Ермолаева Александра Николаевна	ведущий специалист по здоровью
Ефимов Анатолий Алексеевич	ведущий научный сотрудник
Ефимов Владислав Алексеевич	ведущий научный сотрудник
Ехменина Вера Александровна	ведущий специалист
Заритовская Елена Геннадиевна	начальник отдела
Зимаков Василий Николаевич	главный научный сотрудник
Истомина Людмила Александровна	электромонтер линейных сооружений телефонной связи и радиофикации
Казачковский Анатолий Алексеевич	инженер 1 категории
Калиниченко Тамара Викторовна	ведущий специалист

Каряжа Виктор Иванович	начальник группы
Колебанов Юрий Сергеевич	оперативный дежурный института
Коршунов Александр Федорович	начальник отдела
Круглов Василий Олегович	наладчик контрольно-измерительных приборов и автоматики
Логинов Александр Петрович	дозиметрист
Макаренко Юрий Игоревич	заместитель главного инженера института по энергетике
Мигров Юрий Андреевич	начальник отдела
Морозов Юрий Александрович	помощник начальника отдела
Москвин Леонид Николаевич	главный научный сотрудник
Новикова Любовь Васильевна	начальник службы
Пименова Оксана Вячеславовна	начальник отдела
Саранча Олег Николаевич	ведущий инженер
Сидоров Сергей Михайлович	начальник группы
Симоненко Надежда Дмитриевна	ведущий специалист
Слущкая Надежда Тимофеевна	техник-технолог 1 категории
Сухов Олег Игоревич	начальник участка
Тукмачев Виктор Леонидович	ведущий инженер
Тынчеров Таир Энверович	ведущий инженер
Хабенский Владимир Бенцианович	главный научный сотрудник
Хапилина Тамара Ивановна	начальник группы
Хрущев Николай Юрьевич	начальник группы
Чупалова Валентина Максимовна	инженер
Юсупов Александр Константинович	ведущий инженер

Почётным званием «Заслуженный работник
атомной промышленности Российской Федерации»

Чечиков Иван Иванович	помощник начальника цеха
Шехонов Евгений Борисович	главный механик
Щипалкина Марина Николаевна	начальник группы

Почётной грамотой Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»

Бекиш Дмитрий Алексеевич	начальник лаборатории
Бессонов Дмитрий Юрьевич	инженер 1 категории
Будкин Денис Юрьевич	начальник группы
Владимиров Александр Владимирович	начальник группы
Волков Антон Юрьевич	главный метролог-начальник отдела
Григорьев Михаил Сергеевич	ведущий инженер
Громов Роман Николаевич	начальник смены
Карабут Виталий Владимирович	начальник отдела
Каряжа Наталья Борисовна	начальник группы
Киселева Виктория Вячеславовна	начальник секретной части
Маслов Александр Александрович	начальник отдела
Михайличенко Сергей Александрович	начальник группы
Орлов Павел Владимирович	начальник группы
Политова Юлия Анатольевна	главный бухгалтер – начальник департамента бухгалтерского учёта
Пономарев Вячеслав Владимирович	начальник группы
Терских Олег Викторович	начальник группы
Федорук Людмила Владимировна	заведующий производством
Хренов Алексей Владимирович	начальник участка
Шахов Станислав Васильевич	помощник начальника отделения
Шмаров Александр Евгеньевич	начальник группы

Благодарностью генерального директора Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»

Атягин Роман Андреевич	инженер 3 категории
Барцагова Ирина Георгиевна	начальник отдела
Белозерцева Галина Анатольевна	ведущий экономист
Блаженко Валерий Михайлович	ведущий инженер
Брайчева Наталья Владимировна	начальник отдела
Буряков Игорь Александрович	главный научный сотрудник
Буряков Тимофей Игоревич	старший научный сотрудник

Виляйкин Леонид Александрович	начальник группы
Донченко Денис Николаевич	научный сотрудник
Зверев Евгений Викторович	заместитель главного механика /с возложением обязанностей руководителя электромеханического участка/
Иванченков Максим Анатольевич	ведущий специалист
Калинин Илья Сергеевич	инженер 1 категории
Келасьев Александр Геннадьевич	старший специалист руководства
Кропотов Артур Александрович	начальник отдела
Лубинец Лев Викторович	заместитель главного инженера отделения /по эксплуатации систем ЯЭУ/
Максимова Мария Евгеньевна	специалист 2 категории
Марков Николай Геннадьевич	начальник группы
Мельниченко Артем Николаевич	старший научный сотрудник
Мигров Алексей Юрьевич	ведущий инженер
Митекин Иван Викторович	заместитель начальника управления энергоснабжения
Митенков Алексей Леонидович	ведущий инженер
Михайлов Михаил Владимирович	инженер 2 категории
Орехов Михаил Юрьевич	инженер-программист 1 категории
Орлов Сергей Николаевич	научный сотрудник
Петрова Кристина Степановна	инженер 1 категории
Пыжов Сергей Алексеевич	заместитель главного инженера отделения /по ремонту и наладке систем комплекса/
Рючин Вадим Викторович	инженер 3 категории
Ушатицкий Иван Владимирович	начальник группы
Щеднов Сергей Владимирович	старший специалист руководства

Благодарственным письмом генерального директора
Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»

Быстрякова Елена Юрьевна	ведущий бухгалтер
Пономарева Анастасия Витальевна	начальник отдела

Присвоено звание «Ветеран атомной энергетики и промышленности»

Алексенко Николай Владимирович	ведущий инженер
Байша Юрий Анатольевич	инженер-энергетик 2 категории

Боброва Светлана Александровна	главный инженер проекта
Борисевич Елена Викторовна	уборщик производственных и служебных помещений
Васляева Нина Михайловна	кастелянша
Губицкая Нелли Владиславовна	техник 1 категории
Гусев Михаил Юльевич	слесарь-ремонтник
Дербуков Евгений Иванович	ведущий научный сотрудник
Дмитриев Юрий Иванович	помощник заместителя генерального директора / по экономике и финансам /
Заритовский Сергей Михайлович	инженер 1 категории
Калимулин Радик Ринатович	техник 2 категории
Князев Юрий Федорович	монтажник санитарно-технических систем и оборудования
Маслов Александр Александрович	начальник отдела
Новиков Олег Валентинович	водитель автомобиля
Ондрина Ольга Николаевна	инженер 2 категории
Пенькова Александра Александровна	уборщик производственных и служебных помещений
Пупышев Юрий Николаевич	заместитель начальника отдела-руководитель группы по оценке соответствия продукции
Стребков Виктор Михайлович	ведущий инженер
Тимченко Галина Евгеньевна	ведущий инженер
Черкасов Валерий Александрович	начальник смены

Знаком отличия в труде «Ветеран НИТИ им. А.П. Александрова»

Борисевич Елена Викторовна	уборщик производственных и служебных помещений
Головлева Марина Владимировна	заведующий хозяйством
Жестков Алексей Николаевич	инженер 1 категории
Зарубин Вадим Валентинович	начальник лаборатории
Зудина Тамара Викторовна	специалист 1 категории
Каранкевич Ирина Борисовна	начальник группы
Киселева Виктория Вячеславовна	начальник секретной части
Колесникова Наталья Анатольевна	уборщик производственных и служебных помещений
Кудицкий Юрий Никитович	начальник лаборатории
Лемешева Наталия Владимировна	техник 1 категории
Савин Михаил Вадимович	ведущий инженер
Спиридонов Сергей Борисович	ведущий инженер
Терских Олег Викторович	начальник группы

Тимченко Игорь Валентинович	заместитель начальника отдела - начальник группы разработки технических средств
Басов Юрий Иванович	ведущий инженер
Березина Лидия Леонидовна	техник
Владиминова Светлана Александровна	инженер-программист 1 категории
Зимаков Василий Николаевич	главный научный сотрудник
Калиниченко Тамара Викторовна	ведущий специалист
Князева Ольга Григорьевна	ведущий инженер /по лицензированию/
Колосовский Леонид Петрович	инженер 1 категории
Логвин Федор Васильевич	начальник участка
Муравьева Лариса Ивановна	уборщик производственных и служебных помещений
Петрицев Сергей Михайлович	слесарь-ремонтник
Пневская Галина Анатольевна	бухгалтер 2 категории
Раенко Алла Ивановна	бухгалтер 1 категории
Сафонова Вера Николаевна	агент по снабжению
Сенько Юрий Васильевич	инженер 1 категории
Стойлос Галина Александровна	техник 1 категории
Хапилина Тамара Ивановна	начальник группы
Хотулев Виктор Николаевич	начальник службы
Черногузов Александр Тимофеевич	ведущий инженер
Четверикова Мира Александровна	бухгалтер 2 категории
Чупалова Валентина Максимовна	инженер
Шахов Василий Михайлович	дозиметрист
Шевелькова Валентина Николаевна	электромонтер стационарного оборудова- ния телефонной связи
Шипилов Александр Васильевич	ведущий инженер

Получили статус «Заслуженный пенсионер отраслевого значения»

Воронин Юрий Михайлович	помощник генерального директора - начальник департамента правовой работы и имущественных отношений
Воронина Галина Петровна	начальник отдела
Гусев Николай Александрович	дежурный по базе отдыха
Ерохин Владимир Юрьевич	машинист двигателей внутреннего сгорания
Мягков Михаил Сергеевич	инженер 1 категории
Останина Елена Александровна	уборщик производственных помещений
Фирсов Михаил Геннадьевич	ведущий специалист /по управлению имуществом/

Благодарностью главы администрации МО «Сосновоборский городской округ»

Букин Иван Александрович	инженер по стандартизации 2 категории
Володин Вячеслав Вячеславович	специалист 1 категории
Давыдов Александр Александрович	инженер 2 категории
Исакина Анна Александровна	инженер 1 категории
Коротких Ольга Александровна	инженер
Маликов Антон Тимофеевич	инженер-программист 2 категории
Метелев Николай Иванович	заместитель председателя ППО
Николаева Юлия Евгеньевна	специалист 1 категории
Поляков Дмитрий Сергеевич	электромонтер по ремонту электрооборудования
Стеценко Константин Владимирович	инженер-программист 1 категории
Шарин Александр Александрович	инженер 3 категории
Шишкин Семен Николаевич	председатель ППО
Щетинин Илья Павлович	инженер 3 категории

Медалью «За бескорыстный вклад в организацию Общероссийской акции взаимопомощи «#МыВместе»

Букин Иван Александрович	инженер по стандартизации 2 категории
Володин Вячеслав Вячеславович	специалист 1 категории
Николаева Юлия Евгеньевна	специалист 1 категории
Шарин Александр Александрович	инженер 3 категории
Шишкин Семен Николаевич	председатель ППО

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АБ	– аккумуляторная батарея
АЗ	– аварийная защита
а.з.	– активная зона
АК	– аналитический контроль
АПЛ	– атомная подводная лодка
АРМ	– автоматизированное рабочее место
АС	– аварийная сигнализация
АСКРО	– автоматизированная система контроля радиационной обстановки
АСНИ	– автоматизированная система научных исследований
АСО	– автоматизированная система обучения
АСРК	– автоматизированная система радиационного контроля
АСУ ТП	– автоматизированная система управления технологическим процессом
АЭС	– атомная электростанция
БВ	– бассейн выдержки
БД	– блок детектирования
БО и Р	– блок очистки и расхолаживания
ВВЧ	– вода высокой чистоты
ВВЭР	– водо-водяной энергетический реактор
ВМФ	– Военно-Морской Флот
ВРК	– внутрореакторный контроль
ВХР	– водно-химический режим
ГВД	– газ высокого давления
ГТЗА	– главный турбозубчатый агрегат
ГЭУ	– главная энергетическая установка
ЕЦ	– естественная циркуляция
ЖМТ	– жидкометаллический теплоноситель
ЖРО	– жидкие радиоактивные отходы
ЗО	– защитная оболочка

ИВК	– измерительно-вычислительный комплекс
ИИИ	– источник ионизирующих излучений
ИК	– измерительный канал, испытательный комплекс
ИМ	– исполнительный механизм
ИМ АЗ	– исполнительный механизм аварийной защиты
КГ	– компенсирующая группа
КД	– конструкторская документация
КГО	– контроль герметичности оболочек твэлов
КМС	– крупномасштабный стенд
КСУ ТС	– комплексная система управления техническими средствами
КУЭ	– коммерческий учёт электроэнергии
МБК	– металлобетонный контейнер
МВ	– межведомственные испытания
МК	– мобильный комплекс
МДК	– мобильно-диагностический комплекс
ММ	– математическая модель
ММСУ	– модульная мембранно-сорбционная установка
МУЦ	– модульная установка цементирования
МХ	– метрологическая характеристика
МЦО	– межцикловое обслуживание
МЭА	– моноэтанолламин
НФИ	– нейтронно-физические измерения
НФХ	– нейтронно-физические характеристики
ОТВС	– облученная (отработавшая) тепловыделяющая сборка
ОЦТ	– основной циркуляционный тракт
ОЯТ	– отработавшее ядерное топливо
ПВ	– питательная вода
ПГ	– парогенератор
ПГБ	– парогенерирующий блок
ПИН	– пусковой источник нейтронов
ПКГ	– периферийная компенсирующая группа
ПК	– программный комплекс
ПМТ	– полномасштабный тренажёр
ПО	– программное обеспечение
ППУ	– паропроизводящая установка
ПС	– предупредительная сигнализация
ПТК	– программно-технический комплекс
ПУ	– пульт управления
ПЦ	– принудительная циркуляция
РАО	– радиоактивные отходы
РИК	– расходомерный измерительный комплекс
РБ	– радиационная безопасность
РК	– радиационный контроль

РМК	– расчётно-моделирующий комплекс
РТК	– радиационно-технологический контроль
РУ	– реакторная установка
САР	– система аварийного расхолаживания
СВП	– стержень выгорающего поглотителя
СИ	– средство измерения
СКГ	– средняя компенсирующая группа
СКУ	– система контроля и управления
СПОТ	– система пассивного отвода тепла
СРК	– система радиационного контроля
СУ	– система управления
СУТС	– система управления техническими средствами
СУЗ	– система управления и защиты
ТВС	– тепловыделяющая сборка
ТВЭГ	– тепловыделяющий элемент с примесью оксида гадолиния
ТВЭЛ	– тепловыделяющий элемент
ТРО	– твёрдые радиоактивные отходы
ТТК	– теплотехнический контроль
ТФИ	– теплофизические исследования
УСД	– универсальный стенд дефектации
УКХ	– упаковочный комплекс хранения
УЛР	– устройство локализации расплава
ФИО	– фильтр ионообменный
ФТО	– функциональный тренажёр обучения
ХОЯТ	– хранилище отработавшего ядерного топлива
ЦКГ	– центральная компенсирующая группа
ЦНПК	– циркуляционный насос первого контура
ЦНР	– циркуляционный насос расхолаживания
ЦПУ	– центральный пульт управления
ЭТВС	– экспериментальная тепловыделяющая сборка
ЭЭС	– электроэнергетическая система
ЯБ	– ядерная безопасность
ЯЭУ	– ядерная энергетическая установка