НИТИ
РОСАТОМ

ГОДОВОЙ ОТЧЕТ 2021

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

НИТИ
РОСАТОМ

Научно-исследовательский
технологический институт
имени А.П. Александрова

ГОДОВОЙ ОТЧЕТ

2021

УДК-621.039.577.056
ББК-31.46

Редакционная комиссия:

О.Ю. Пыхтеев (главный редактор)
А.Л. Дмитриев
О.И. Косульников
Ю.В. Крюков

Компьютерная вёрстка:

Е.В. Куликова, П.С. Суворов

Фото:

Д.С. Веденин

Ответственный за выпуск отчёта:

Ю.В. Крюков

Восемнадцатое официальное издание годового отчёта ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» включает в себя основные результаты научно-технической и производственной деятельности института за 2021 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», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ОБРАЩЕНИЕ ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА 6

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ. 10

2. ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ НА СТЕНДАХ-ПРОТОТИПАХ ТРАНСПОРТНЫХ ЯЭУ 14

3. ДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, СОЗДАНИЕ ТРЕНАЖЁРОВ 17

3.1 Работы отделения динамических исследований в 2021 году 18

3.2 Разработка и изготовление аппаратуры автоматизированных рабочих мест оператора АРМ-О и электрика АРМ-ЭЛ для системы АВРИП-Р ИК «РЕСУРС» 20

3.3 Создание каналов обмена ИВК «АНИС-ВЗ» со штатной системой управления 23

3.4 Разработка, изготовление и поставка аппаратуры систем технического диагностирования главных циркуляционных насосных агрегатов для Курской АЭС-2, блок №1, АЭС «Руппур» блок № 2 в Бангладеш и АЭС «Аккую» блок № 2 в Турции 25

3.5 Программно-технический комплекс «Сова-У» 28

4. НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 37

НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 38

4.1 Разработка потвэльной расчётной модели активной зоны РУ стенда КМ-1 39

4.2 Моделирование потвэльного энерговыделения в эксперименте по отключению двух смежных из четырёх работающих главных цируляционных насосов на РУ ВВЭР-1000 46

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 54

4.3 Анализ температурной неравномерности в активной зоне реактора с ТЖМТ 55

4.4 Задачи экспериментальной отработки технических решений по оборудованию РУ с СВТ на электрообогреваемом стенде со свинцово-висмутовым теплоносителем» 63

4.5 Разработка усовершенствованной программы расчёта свойств воды и водяного пара на основе формуляции IAPWS'95 68

5. ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И РАДИОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 71

5.1 Радиоэкологический мониторинг воздушной среды на промплощадке ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» 75

5.2 Разработка автоматизированных стендов приготовления поверочных растворов для поверки приборов АХК ВХР 84

5.3 Разработка методики идентификации микродефектов оболочек дисперсионных твэлов ЯЭУ транспортного назначения по результатам внереакторной дефектации 90

6. ИССЛЕДОВАНИЯ ТЯЖЁЛЫХ АВАРИЙ 101

6.1 Экспериментальные исследования процессов, протекающих при гипотетических авариях с расплавлением активной зоны реактора со свинцовым теплоносителем 103

6.2 Экспериментальное исследование взаимодействия свинцово-висмутового теплоносителя со сталью оболочек твэлов 107

6.3 Экспериментальные исследования взаимодействия свинцово-висмутового теплоносителя с теплоносителем второго контура в аварийных режимах 111

6.4 Сцинтилляционные материалы на основе оксидной эвтектики 114

7. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ 118

7.1 Разработка предварительных компоновок панелей управления БПУ АЭС Ханхикиви-1 120

7.2 Комплекс работ по учёту человеческого фактора в проекте АЭС «Ханхикиви-1» на стадии технического проектирования 126

7.3 Создание системы отслеживания проблем учёта человеческого фактора на этапах жизненного цикла АЭС 129

7.4 Создание системы автоматического ввода источников резервного питания 6 кВ РДЭС двух каналов аварийного электроснабжения ИК «Ресурс» 133

8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 142
8.1 Деятельность отдела радиационной безопасности в 2021 году 143
8.2 Внереакторная дефектация ОТВС активной зоны 11-7М стенда КВ-1 . . 143
8.3 Гамма-сканирование ОТВС активной зоны стенда КВ-1. 145

9. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ НА СТЕНДАХ-ПРОТОТИПАХ ТРАНСПОРТНЫХ ЯЭУ 147

10. ВНЕДРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 150

11. СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА 156

12. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ 162
12.1 Работа по международным соглашениям и контрактам 163
12.2 Научно-технические издания, публикации 166
12.3 Управление интеллектуальной собственностью 175
12.4 Участие специалистов НИТИ в семинарах и конференциях 180

13. ГРАЖДАНСКАЯ ОБОРОНА И ЗАЩИТА ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ . . . 183

14. РАБОТА ПО ПОДГОТОВКЕ И РАЗВИТИЮ ПЕРСОНАЛА ПОД СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ИНСТИТУТА 191

Поощрения, награды 194

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ 198

ОБРАЩЕНИЕ ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА

Генеральный директор
ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»
Пыхтеев Олег Юрьевич

Уважаемые друзья, коллеги, партнеры!

Атомная отрасль – один из важнейших секторов экономики России, динамичное развитие которого является условием обеспечения энергонезависимости государства и стабильного роста экономики страны. Говоря о современном этапе развития атомной отрасли, следует отметить, что это не только сооружение и эксплуатация энергоблоков АЭС в России и за её пределами, но и обеспечение обороноспособности страны и создание инновационных технологий для успешного развития транспортной ядерной энергетики.

За годы научно-инженерной деятельности ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» внёс существенный вклад в развитие и совершенствование отечественной транспортной ядерной энергетики.

Вашему вниманию предлагается восемнадцатое официальное издание публичного Годового отчёта ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» с основными результатами деятельности института в 2021 году.

В 2021 году коллективом ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» выполнен весь запланированный объём работ по реконструкции стендовой базы предприятия, 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 (ОИАЭ) 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. Велись работы по выводу из эксплуатации ЯЭУ стенда КВ-2.

С целью своевременного завершения работ по выгрузке массива ОТВС активной зоны реактора стенда КВ-1 разработана, изготовлена и успешно применена специальная оснастка для извлечения части ОТВС. Проведена внереакторная дефектация массива ОТВС на универсальном стенде. Выполнен комплекс работ по вывозу ОТВС стенда КВ-1 на утилизацию в ФГУП «ПО «Маяк» и на послереакторные материаловедческие исследования в АО «ГНЦ НИИАР».

В рамках задач по импортозамещению и информационной безопасности разрабатывалась новая версия технологии автоматизации моделирования ТЕРМИТ, используемая при создании тренажёрных и расчётно-моделирующих комплексов для ОИАЭ.

Значительный объём выполненных работ связан с разработкой комплексных систем управления ЯЭУ и технологическими системами стендов (ТСС) института. Продолжено создание системы управления технологическими средствами (СУ ТСС) стенда КМ-1, подготовлена концепция человеко-машинного интерфейса СУ ТСС. С использованием разработанных ранее мобильного управляющего комплекса и расчётно-моделирующего комплекса КМ-1 выполнялась проверка заложенных в СУ ТСС технических решений при отработке методик комплексной апробации ТСС стенда КМ-1.

Активно велись работы по гражданской тематике: модернизация полномасштабного и аналитического тренажёров для плавучей атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов»; изготовление и поставка комплектов аппаратуры систем технического диагностирования главных циркуляционных насосных агрегатов (ГЦНА) для Курской АЭС-2, АЭС «Руппур», АЭС «Аккую», АЭС «Куданкулам», радиометров-спектрометров МГГ-010-01 для Кольской АЭС, Билибинской АЭС, Белоярской АЭС; поставка и шеф-монтаж автоматизированных стендов приготовления поверочных растворов для Ленинградской АЭС-2.

Велись работы по дальнейшему совершенствованию разработанных в НИТИ расчётных кодов (РК) для моделирования нейтронно-физических и теплогидравлических процессов в оборудовании ЯЭУ различного типа и назначения. Подготовлена и апробирована потвэльная модель активной зоны для РУ с жидкометаллическим теплоносителем. Завершена процедура экспертизы в надзорном органе специализированной версии РК КОРСАР/ГП с последующей её аттестацией в Экспертном совете применительно к обоснованию безопасности АЭС нового поколения с ВВЭР. Вступил в завершающую стадию комплекс работ по верификации и валидации расчётного кода нового поколения КОРСАР/3D, обеспечивающего моделирование нестационарных нейтронно-физических и теплогидравлических процессов ВВЭР в 3D-приближении.

Завершены работы по сооружению стенда ИСТП для исследования двухфазных потоков. Стенд прошёл метрологическую аттестацию и введён в эксплуатацию.

На стенде КОРВЕТ-2 выполнен цикл экспериментов по исследованию влияния качества воды на кризис теплообмена при кипении на поверхностях корпуса устройства локализации расплава, сооружаемого на АЭС нового поколения с ВВЭР, результаты экспериментальных исследований обобщены и переданы Заказчику.

На установках экспериментального комплекса «Расплав» продолжено исследование процессов, протекающих на различных стадиях тяжёлых аварий на реакторных установках различного типа, включая РУ АЭС.

Выполнены работы по исследованию процессов, протекающих в условиях запроектных аварий на реакторной установке БРЕСТ-ОД-300, а также взаимодействия свинцово-висмутового теплоносителя (СВТ) со сталью оболочек твэлов и с теплоносителем второго контура в аварийных режимах

В рамках работ, выполняемых Госкорпорацией «Росатом» по проектированию зарубежных АЭС, в 2021 году специалисты института принимали участие в проектировании пунктов управления АЭС «Ханхикиви-1» – велась работа по обновлению концепции управления и выполнению функционального анализа АЭС. Выполнены работы по сопровождению рассмотрения концепции управления и отчётов по функциональному анализу АЭС «Эль-Дабаа».

В 2021 году средняя численность работников НИТИ составила 2093 человека, на работу в институт принят 71 человек (рабочие, специалисты, руководители).

В 2021 году был инициирован и проведен молодежный конкурс проектов «От идеи к жизни», направленный на поиск новых направлений развития в гражданской тематике, реализацию творческого потенциала и инновационной активности молодых сотрудников, а также создание условий для карьерного и личностного роста.

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 2021 году 61 работник института получил награды Госкорпорации «Росатом», 22 работникам присвоено звание «Ветеран атомной энергетики и промышленности».

Знаком отличия в труде «Ветеран НИТИ им. А.П. Александрова» награждены 17 работников института.

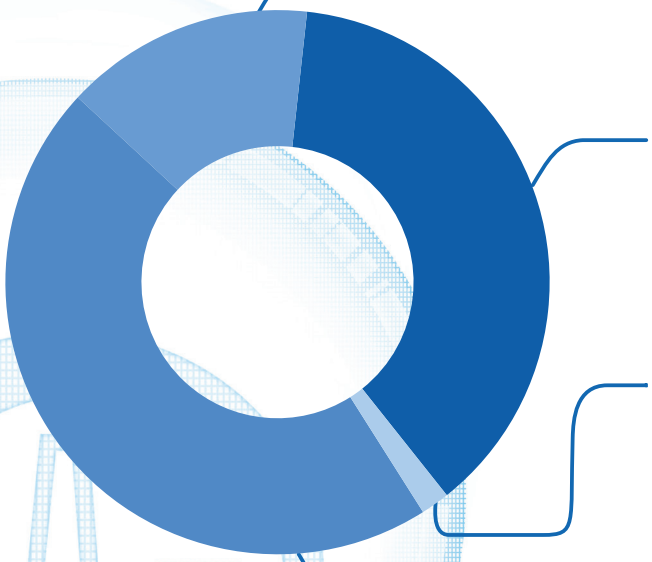
Коллектив института постоянно расширяет и укрепляет свои научные и производственные контакты с научными и конструкторскими организациями России, открыт к сотрудничеству с новыми партнёрами в различных отраслях научно-технической деятельности и производства.

Генеральный директор
ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»
О.Ю. Пыхтеев

1

1. Общие сведения

Кадровый состав института



Руководители:
352 чел. (16 %)

Рабочие:
667 чел. (32 %)

Служащие:
34 чел. (2 %)

Специалисты:
1040 чел. (50 %)

В институте работают
11 докторов наук и
43 кандидата наук

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	
Отделение динамических исследований	• Расчётно-экспериментальные исследования динамических характеристик ЯЭУ. • Обоснование безопасности испытаний. • Разработка и внедрение: систем технической диагностики, тренажёров и моделирующих комплексов; систем автоматизации натурного 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. • Радиоэкологический и химический мониторинг в зоне воздействия объектов с 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.

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 впереди
Мы стремимся быть лидером на глобальных рынках. Мы всегда на шаг впереди 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

В течение 2021 года на стендах-прототипах института проводились исследования и испытания в обоснование безопасности и надёжности элементной базы инновационных транспортных ЯЭУ.

В 2021 году продолжены работы по выгрузке ОТВС из реактора стенда КВ-1.

С целью своевременного завершения работ по выгрузке массива ОТВС активной зоны реактора стенда КВ-1 разработана, изготовлена и успешно применена специальная оснастка для извлечения части ОТВС.

Проведена внереакторная дефектация массива ОТВС на универсальном стенде. Выполнено гамма-сканирование ОТВС активной зоны стенда КВ-1. Предложены критерии выявления дефектов и необходимая корректировка методики проведения дефектации, повышающая эффективность выявления негерметичных сборок. Проведён анализ результатов гамма-сканирования с использованием специализированных программных средств. Для экспериментальной оценки плотности продуктов деления в ОТВС активной зоны стенда КВ-1, а также с целью верификации разработанных в НИТИ аттестованных расчётных кодов КП САПФИР_ВВР95&RC проведено гамма-сканирование ОТВС активной зоны стенда КВ-1.

Выполнен комплекс работ по вывозу ОТВС стенда КВ-1 на утилизацию в ФГУП «ПО «Маяк» и на послереакторные материаловедческие исследования в АО «ГНЦ НИИАР».

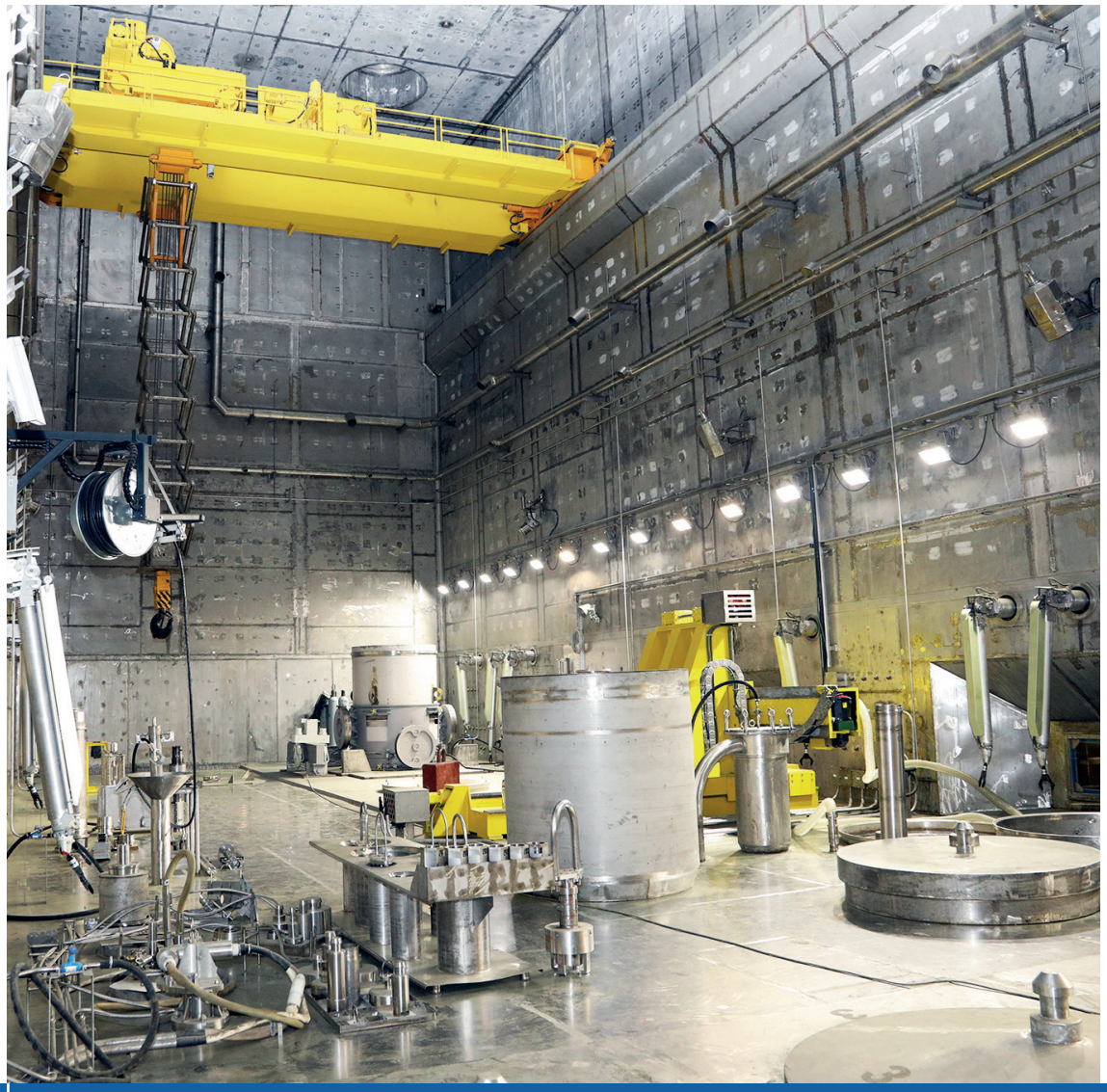
В соответствии с комплексным графиком продолжались работы по реконструкции стенда КМ-1 для испытаний перспективных транспортных ЯЭУ, велась разработка технического проекта ЯЭУ. Выполнен комплекс НИОКР по созданию специальных технологических систем стенда.

Для получения новых данных о фактическом состоянии элементов инновационных транспортных реакторных установок после проведения их исследований и испытаний в институте продолжалось строительство комплекса защитных камер (КЗК). КЗК в безопасном

для персонала дистанционном режиме позволит проводить материаловедческие, химические, радиохимические и радиационные исследования. Полученные данные позволят сделать выводы о правильности принятых технических решений и необходимости внесения соответствующих изменений в конструкцию изделий.

Комплекс позволит выполнять работы по разделке реакторных установок и изучению облученных ТВЭЛ, работы по сбору, временному хранению и передаче радиоактивных отходов и облученного ядерного топлива. Высокий уровень автоматизации комплекса позволяет выполнять работы безопасно для персонала и окружающей среды.

Комплекс защитных камер



3

3. Динамические исследования, создание тренажёров

3.1 Работы отделения динамических исследований в 2021 году

С.П. Витин, Д.В. Лялюев

Тематика работ отделения динамических исследований разнообразна и определяется широким спектром разноплановых задач, поставленных перед ОДИ руководством института. Основные работы ОДИ в 2021 году, как и института в целом, были связаны с обеспечением подготовки и проведения испытаний на стендах-прототипах, что обусловило значительность доли работ отделения, связанной с модернизацией и техническим обслуживанием измерительно-вычислительных комплексов АНИС, обработкой полученной экспериментальной информации и расчётно-аналитическими исследованиями в обеспечение стендовых испытаний. Продуктом экспериментальных исследований на стендах-прототипах является большой объём зарегистрированной информации, которая обрабатывается, записывается и хранится в электронных архивах. Информация может быть доступна как для сотрудников НИТИ, так и для сотрудников смежных организаций.

В 2021 году силами отделения эксплуатировался ИВК «АНИС В3», с помощью которого обеспечена непрерывная регистрация параметров при проведении испытаний установки соответствующего стенда. ИВК «АНИС-В3» обеспечил регистрацию 2 642 экспериментов, выдачу 572 распечаток и обработку экспериментальной информации при проведении работ на стендовом комплексе.

С использованием полномасштабного тренажёра «Диана-В3», разработанного и эксплуатируемого в ОДИ, обеспечено проведение обучения эксплуатационного персонала стенда.

Параллельно с экспериментами выполнялись и расчётные исследования в обеспечение испытаний. С использованием ПК «КРАБ» и РМК СК определены и объяснены особенности проведенных экспериментальных режимов, подготовлены обоснованные рекомендации по условиям проведения следующих циклов испытаний. Результаты изложены в шести научно-технических отчётах, докладах на технических мероприятиях по данной тематике.

Силами ОДИ проводились работы по авторскому сопровождению и обеспечению бесперебойного функционирования разработанных и поставленных ранее систем:

- системы управления техническими средствами стендового комплекса (СУ ТС СК);
- программно-технического комплекса верхнего уровня автоматизированной системы радиационного контроля (ПТК ВУ АСРК);
- автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО).

В 2021 году активно велись работы по созданию виртуального стендового комплекса (ВСК). Разработан и утверждён ряд частных технических заданий и эскизных проектов по составным частям ВСК, в том числе: по функциональному тренажёрному комплексу (ФТК), цифровой инженерной модели (ЦИМ), системе виртуальной реальности (СВР) и Глобальной Базе Данных (ГБД) в составе из трёх локальных БД по различным технологическим направлениям.

Важной частью работ ОДИ в настоящее время является решение задач импортозамещения и информационной безопасности. Одним из направлений данной деятельности является разработка новой версии собственной технологии автоматизации моделирования ТЕРМИТ, которая широко применяется при создании тренажёрных и расчётно-моделирующих комплексов для объектов использования атомной энергии. В этой связи велась работа по переводу всего системного и функционального ПО (расчётные коды) в среду ОС Astra Linux. Параллельно велись работы по развитию функционала системы ТЕРМИТ в части разработки и интеграции в его состав новых расчётных кодов: SIGNET (динамика в 2-компонентных газовых сетях) и системного теплогидравлического кода «КРАБ». По данному направлению выпущено три технических задания и четыре научно-технических отчёта.

Значительный объём работ, выполняемых отделением, связан с разработкой комплексных систем управления ЯЭУ и технологическими системами стендов (ТСС).

Так, в 2021 году выполнена корректировка материалов технического проекта системы управления ЯЭУ (АОБ, ПЗ, формуляр, схемы) стенда КМ-1 по результатам проведённого расчётного обоснования и согласования с КБ-проектантами. Материалы откорректированного и утверждённого технического проекта СУ ЯЭУ КМ-1 направлены в адрес КБ проектанта РУ и УГН ЯРБ МО РФ.

Продолжено создание системы управления технологическими системами стенда КМ-1 (СУ ТСС):

- разработан техно-рабочий проект ПТК «Сова-У» для отработки и наладки приборных шкафов и самостоятельных комплектов системы управления ТСС на полигоне главного конструктора;
- с участием отдела разработки АСУ ТП подготовлена концепция человеко-машинного интерфейса СУ ТСС;
- с использованием разработанных ранее в ОДИ мобильного управляющего комплекса (МУК) и расчётно-моделирующего комплекса КМ-1 выполнялась проверка заложенных в СУ ТСС технических решений при отработке методик комплексного опробования ТСС стенда КМ-1.

Кроме работ, выполняемых в обеспечение основной деятельности института на стендах, расположенных на площадке НИТИ, выполнен ряд работ по инициативным договорам по гражданской тематике.

Так заключен договор с концерном «Росэнергоатом» и начаты работы по модернизации тренажёров для ПАТЭС (ПМТ и АТ) для приведения их в соответствие энергоблоку прототипу.

По договору с АО «ЦКБМ» проводились следующие работы:

- изготовлены и поставлены три комплекта аппаратуры систем технического диагностирования ГЦНА: для Курской АЭС-2, АЭС «Руппур», АЭС «Аккую»;
- по изготовлению АСТД ГЦНА для Курской АЭС-2 и для АЭС «Куданкулам».

В рамках исполнения договорных обязательств по сопровождению ранее поставленных изделий и технической поддержке заказчиков проведены следующие работы:

- для Белоярской АЭС – сопровождение программно-технического комплекса верхнего уровня АСРК;
- для Ленинградской АЭС – сопровождение локальной измерительной системы комплекса по переработке жидких радиоактивных отходов, а также комплекса ПТС информационно-управляющей сети общетехнологических систем и вентиляции;
- для АО «Атомэнергопроект» – техническая поддержка использования многофункционального редактора (МФР).

По результатам работ, выполненных отделением динамических исследований в 2021 году, следует отметить их широкую номенклатуру и разноплановость, высокое качество исполнения, применение передовых достижений в области математического моделирования динамики энергетических систем, в том числе и при разработке комплексных систем управления; обеспечение и поддержку экспериментальных исследований на самом современном уровне при осуществлении процессов регистрации, обработки, анализа и хранения экспериментальных данных, получаемых на стендах-прототипах, расположенных в НИТИ.

3.2 Разработка и изготовление аппаратуры автоматизированных рабочих мест оператора АРМ-О и электрика АРМ-ЭЛ для системы АВРИП-Р ИК «РЕСУРС»

П.В. Макагон

В 2021 году разработана и изготовлена аппаратная часть автоматизированных рабочих мест оператора (АРМ-О) и инженера-электрика (АРМ-ЭЛ) для системы автоматического ввода резервного источника питания испытательного комплекса «РЕСУРС» (АВРИП-Р).

Система АВРИП-Р должна обеспечивать автоматический перевод питания секций важных для безопасности (далее СВБ) на автономный источник при потере электропитания от основного источника (ПАО «Ленэнерго»). Автономным источником питания служат две резервные дизельные электростанции (РДЭС-1 и РДЭС-2) мощностью 2500 кВт каждая.

АРМ-ЭЛ и АРМ-О обеспечивают контроль состояния оборудования внешних и внутренних сетей системы аварийного электроснабжения (далее – САЭ), предоставляют данные изменения состояния контролируемого оборудования оператору и дежурному инженеру-электрику.

АРМ-ЭЛ и АРМ-О обеспечивают реализацию следующих функций:

- представление оперативному персоналу, при помощи системы видеокадров и окон информации о функционировании оборудования системы АВРИП-Р, об ошибках и авариях в работе оборудования системы АВРИП-Р, о готовности/неготовности РДЭС, а также другого оборудования, связанного с работой системы АВРИП-Р;

- сигнализация изменения состояния контролируемого оборудования САЭ и оборудования самих АРМ-ЭЛ и АРМ-О;
- формирование необходимой текущей отчётной документации для оперативного персонала и администрации по работе контролируемого оборудования;
- обмен данными с другими программно-техническими средствами по оптоволоконным каналам сети Ethernet;
- обмен данными с другими программно-техническими средствами посредством интерфейса RS-485(АРМ-ЭЛ);
- ввод сигналов типа “сухой контакт” (АРМ-ЭЛ);
- регистрация и сохранение полученных данных;
- доступ к сохранённым данным;
- контроль доступа к работе на АРМ-ЭЛ и АРМ-О.

Состав АРМ-ЭЛ:

- автомат ввода резерва (АВР);
- источник бесперебойного питания (ИБП);
- кросс оптический;
- преобразователь сети Ethernet в оптику Tx/Fx в количестве 4 шт.;
- коммутатор сети Ethernet;
- модуль ввода дискретных сигналов на 16 каналов в количестве 3 шт.;
- сервер RS-485 четырехпортовый в количестве 2 шт.;
- компьютер промышленный.
- конструктив – приборный шкаф с фурнитурой и внутренним электромонтажом.

Состав АРМ-О:

- автомат ввода резерва (АВР);
- источник бесперебойного питания (ИБП);
- кросс оптический;
- преобразователь сети Ethernet в оптику Tx/Fx в количестве 4 шт.;
- коммутатор сети Ethernet;
- сетевое хранилище (RAID-массив);
- конструктив – приборный шкаф с фурнитурой и внутренним электромонтажом.

АРМ-ЭЛ и АРМ-О выполнены в виде напольных шкафов двухстороннего обслуживания. Передние и задние двери снабжены замками, исключающими несанкционированный доступ. По устойчивости к воздействию пыли и воды шкафное оборудование АРМ имеет исполнение IP21, прочее оборудование – IP20 по ГОСТ 14254-2015. Электропитание оборудования АРМов осуществляется через автомат ввода резерва (АВР), обеспечивающий коммутацию входного напряжения электропитания от одного из двух вводов сети переменного тока 220В, 50 Гц и переключение электропитания на резервный ввод в случае отсутствия напряжения на основном. Для исключения перебоев в питании и защиты от помех, выбросов и провалов питающей сети в шкафах АРМ установлены источники бесперебойного питания (ИБП) российского производства, обеспечивающие время работы от встроенных батарей более 90 минут. Каждое рабочее место обменивается с системой АВРИП-Р информацией по четырем оптоволоконным линиям сети Ethernet, для чего в шкафах предусмотрены оптические кроссы для подключения магистральных кабелей, оптические конверторы и сетевые коммутаторы.

АРМ-О оснащён сетевым хранилищем с резервированием и горячей заменой жестких дисков (RAID-массив) для хранения архива данных изменения состояния контролируемого оборудования.

АРМ-ЭЛ оснащён модулями ввода дискретных сигналов и позволяет подключить 48 сигналов типа «сухой контакт» от технологического оборудования. Также шкаф оснащён двумя серверами для подключения 8 линий связи для обмена данными по интерфейсу RS-485 с технологическим оборудованием.

Каждое рабочее место оснащено акустической системой для воспроизведения звуковой сигнализации.

Аппаратные средства АРМ-ЭЛ и АРМ-О выбраны в соответствии с требованиями технических заданий на создание (ТЗ). Шкафы имеют размеры 600x970x600мм (ШхВхГ), и являются типовыми для АРМов, разработанных ранее в ОДИ.

Компоновка шкафов АРМов выполнена путём трёхмерного моделирования при помощи программы Autodesk Inventor, что позволило ускорить разработку конструкторской документации, процесс сборки и исключить ошибки при монтаже. Рендеры 3D-моделей шкафов АРМ-ЭЛ и АРМ-О представлены на рисунках 1, 2.

На АРМ-ЭЛ и АРМ-О разработаны и выпущены комплекты конструкторской документации (КД) и эксплуатационная документация (ЭД) на аппаратную часть. Сборка изделий производилась на участке опытного производства ОДИ.

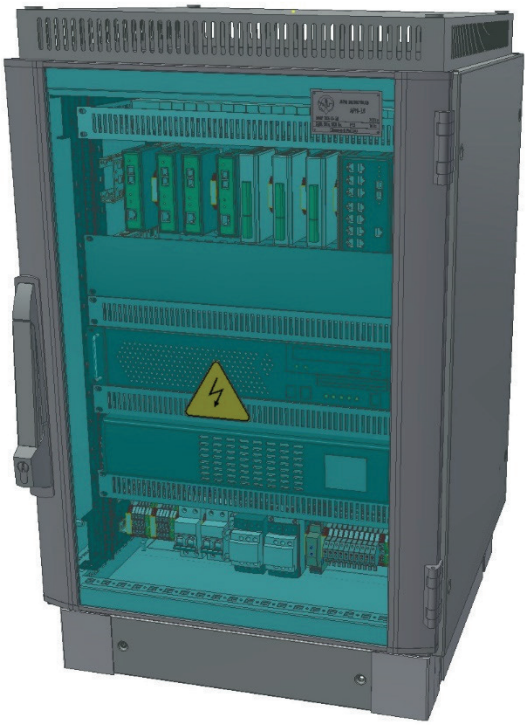


Рисунок 1 – Шкаф АРМ-ЭЛ

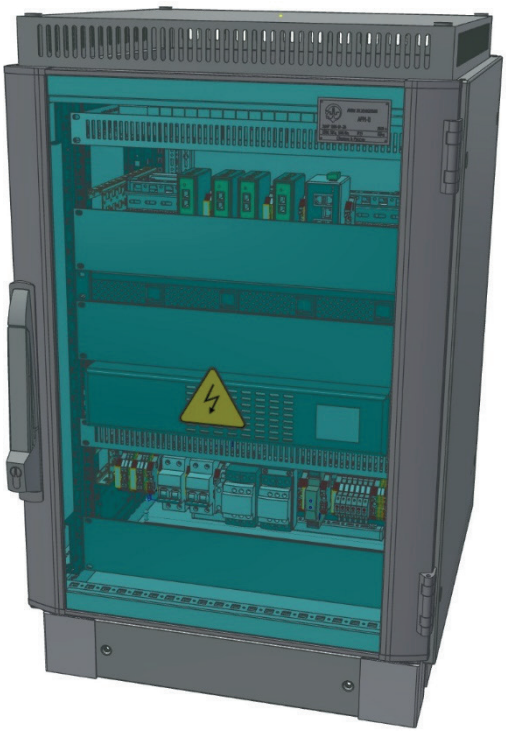


Рисунок 2 – Шкаф АРМ-О

Всего изготовлено: АРМ-ЭЛ – 2 шт., АРМ-О – 1 шт.

Головной образец АРМ успешно прошёл испытания на внешние воздействующие факторы (ВВФ) и электромагнитную совместимость (ЭМС). Приемочные испытания АРМ-ЭЛ и АРМ-О, проведенные на полигоне ГК с использованием тестового ПО, доказали работоспособность изделий и соответствие требованиям технических заданий на их создание.

АРМ-ЭЛ и АРМ-О переданы Заказчикам для выполнения монтажа и производства пусконаладочных работ.

3.3 Создание каналов обмена ИВК «АНИС-В3» со штатной системой управления

А.В. Беспалов, В.А. Карпов, А.В. Кутьин, А.Н. Скрипачев

Измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) «АНИС-В3» является важной системой, обеспечивающей подготовку и проведение испытаний на стендовом комплексе «Каскад». ИВК регистрирует значения параметров, по которым можно судить о процессах, протекающих в ЯЭУ и технологических системах стендового комплекса.

При подготовке к проведению испытаний возникла задача по доработке ИВК «АНИС-В3», которая потребовала обеспечить надежный и достоверный прием информации и синхронизированную регистрацию параметров штатной системы управления совместно с параметрами стендовой системы управления ЯЭУ и обеспечивающих технологических систем. Выполнение этих требований обеспечивало возможность проводить глубокий анализ функционирования систем управления ЯЭУ и комплекса в целом, а также расширить инструменты анализа экспериментальных данных.

Совместно с разработчиками штатной системы управления принято решение о добавлении к штатной системе трёх преобразователей интерфейса ГОСТ Р 52070–2003 к интерфейсу Ethernet 100 Base-T и введении в состав ИВК «АНИС–В3» трёх шлюзовых ЭВМ, обеспечивающих прием данных от каналов обмена со штатной системой, преобразование данных к виду, используемому в ИВК «АНИС–В3», и передачу данных на серверы регистрации.

Разработан и согласован протокол передачи данных от преобразователей интерфейса в ИВК «АНИС-В3».

С целью апробирования технических решений и разработки программного обеспечения создан макет канала обмена данными штатной системы с ИВК «АНИС-В3» и проведена экспериментальная работа по исследованию его характеристик [2]. Макет канала обмена содержал симулятор канала штатной системы управления на базе персонального компьютера, шлюзовой компьютер, сервер ИВК и ПК пульта управления ИВК.

Симулятор разработан с использованием операционной системы QNX и фрагмента программного обеспечения штатной системы управления. Для обеспечения функционирования макета канала разработаны алгоритм приема и тестовое программное обеспечение шлюзового компьютера, доработано программное обеспечение ИВК «АНИС-В3», произведена комплексная наладка макета канала.

Разработаны методики определения характеристик макета канала обмена. При проведении исследований время задержек фиксировалось по данным сервера единого времени.

Функциональная схема макета канала обмена приведена на рисунке 1.

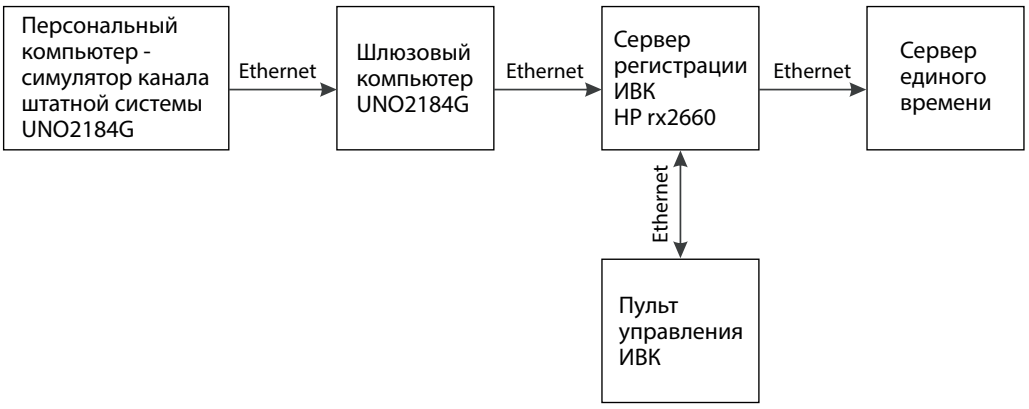


Рисунок 1 – Функциональная схема макета канала обмена ИВК «АНИС-В3»

Апробация технических решений на макете канала обмена позволила заранее отработать протокол взаимодействия, отладить программное обеспечение приема и регистрации информации, сократить время проведения наладочных работ при подключении преобразователей интерфейса к ИВК «АНИС-В3». Определено время прохождения (задержки) данных по каналу, которое составило 0,2–0,3 с.

Для реализации трёх каналов обмена ИВК «АНИС-В3» со штатной системой управления выполнены механический и электрический монтаж шлюзовых компьютеров и источников бесперебойного питания в стойке системы сбора данных (ССД), подключение к преобразователям интерфейса и системе электроснабжения. В базу данных каналов ИВК «АНИС-В3» внесена информация об адресах, функциях и коэффициентах масштабирования 1677 контролируемых параметров, принимаемых по трем каналам передачи информации.

Проведены автономная и комплексная наладка ИВК «АНИС-В3» с созданными каналами обмена, выполнена проверка достоверности показаний параметров ИВК «АНИС-В3» от штатной системы управления. Схема передачи информации в ИВК «АНИС-В3» приведена на рисунке 2.

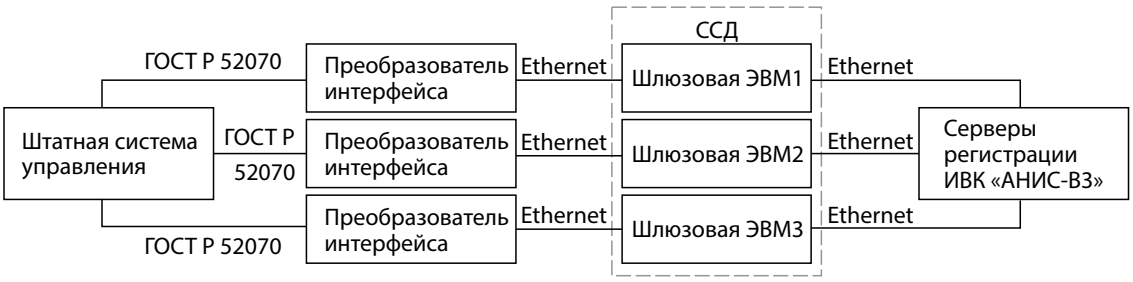


Рисунок 2 – Схема передачи информации в ИВК «АНИС-В3»

Созданные каналы обмена обеспечили регистрацию параметров штатной системы управления при выполнении:

- настройки и автономных проверок штатной системы управления;
- совместных проверок функционирования штатной и стендовой систем управления от специальной системы испытаний и математической модели реального времени;
- испытаний ЯЭУ.

Зарегистрированная информация ИВК «АНИС-В3», дополненная параметрами штатной системы, позволила провести полноценный анализ функционирования как штатной системы управления, так и комплекса в целом.

Литература

1. ГОСТ Р 52070-2003. Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей.
2. Отчёт о научно-исследовательской работе «Макетирование и определение характеристик канала обмена ИВК «АНИС-В3» с аппаратурой имитаторов»№ Д-9977.

3.4 Разработка, изготовление и поставка аппаратуры систем технического диагностирования главных циркуляционных насосных агрегатов для Курской АЭС-2, блок №1, АЭС «Руппур» блок № 2 в Бангладеш и АЭС «Аккую» блок № 2 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 течение 2021 года 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 Курской АЭС-2, блок №1, АЭС «Руппур» блок № 2 (Бангладеш) и для АЭС «Аккую» блок № 2 (Турция).

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

Работа выполнялась совместно с сотрудниками АО «ЦКБМ», разработавших 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), в состав которого входят:

– вибромониторы VC6000 фирмы Brue&Kjaer Vibro – 2 шт.;

- преобразователи сигналов АС-4105 фирмы Bruel&Kjaer Vibro – 12 шт.;
- консоль оператора с монитором 17´´ клавиатурой и тачпадом – 1 шт.;
- промышленный компьютер для исполнения функций спектроанализатора – 1 шт.;
- промышленный компьютер (рабочая станция) для исполнения ПО СТД ГЦНА – 1 шт.;
- промышленные компьютеры, выполняющие функции основного и резервного шлюза связи с СВБУ – 2 шт.;
- преобразователь сети Ethernet в оптику Tx/Fx – 3 шт.;
- источник бесперебойного питания (ИБП) –1 шт.;
- конструктив – приборный шкаф с фурнитурой и внутренним электромонтажом – 1 шт.

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 систему верхнего блочного управления (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 сообщения 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	±(0,1+0,1 VИЗМ), где VИЗМ – 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	±(0,02+0,05 ХИЗМ), где ХИЗМ – измеренное значение смещения, мм

Продолжение таблицы

Наименование параметра	Значение
г) диапазон измерения амплитуды виброперемещения, мм	от 0,05 до 0,35
д) пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения амплитуды виброперемещения, мм	±(0,02+0,07 SИЗМ), где SИЗМ – измеренное значение виброперемещения, мм
– 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

В 2021 году были изготовлены комплекты АСТД в двух исполнениях (48 и 56 измерительных каналов) для Курской АЭС-2, блок № 1, АЭС «Руппур» блок № 2 и для АЭС «Аккую» блок № 2 с применением датчиков и вторичных преобразователей фирмы «СИЭЛ» (Россия) и оборудования фирмы «Bruel&Kjaer Vibro» (Германия).

В результате длительной и успешной работы ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» и АО «ЦКБМ» с 2007 года по 2021 год было создано и поставлено 20 комплектов АСТД и аналогичной аппаратуры для российских и зарубежных АЭС.

Многолетняя непрерывная работа показала на практике высокую надёжность изготовленного оборудования.

3.5 Программно-технический комплекс «Сова-У»

С.В. Батраков, Е.И. Дербуков, М.А. Ельшин, С.Д. Коновалов, А.Ф. Коршунов, Д.С. Терехов, В.А. Чернего

В VI квартале 2021 года в ОДИ завершена разработка технорабочего проекта программно-технического комплекса (ПТК) для отработки, наладки и испытаний программно-технических средств (ПТС) систем управления (СУ) технологическими системами стенда КМ-1 на полигоне [1]. Технические решения, закладываемые в создаваемый ПТК, получивший название «Сова-У», предполагают реализацию универсального подхода к отработке на полигоне различных СУ объектами использования атомной энергии (ОИАЭ).

Основное предназначение ПТК «Сова-У» – отладка и верификация алгоритмов управления, реализуемых СУ технологическими системами (ТС) ОИАЭ, проведение автономных пусконаладочных работ и предварительных испытаний как отдельных приборных шкафов, так и функциональносамостоятельных комплектов аппаратуры СУ.

ПТК «Сова-У» должен обеспечить сокращение сроков наладки и ввода в эксплуатацию ПТС СУ за счёт повышения качества проектирования, которое достигается посредством использования комплексных математических моделей в качестве имитаторов всех ТС ОИАЭ для предварительной отработки всех режимов функционирования ПТС СУ [2]. В состав каждой комплексной модели входят: модель физических процессов в ТС, модель алгоритмов функционирования автоматизируемых технических средств ТС и, при необходимости, проекты программного обеспечения для штатных программно-технических комплексов системы управления.

Отработка функционирования ПТС во взаимодействии с моделями ТС предусматривает:

- проектирование для каждой ТС алгоритмов её функционирования с использованием в качестве имитатора объекта управления реперной математической модели ТС;
- использование инструментально-программных комплексов (ИПК) ТЕРМИТ для разработки математических моделей всех ТС при проектировании алгоритмов функционирования СУ;
- комплексную отладку ПТС для функциональносамостоятельных комплектов штатной аппаратуры (очереди) СУ в различных режимах управления математическими моделями (имитаторами объектов управления) ТС;
- отработку на сенсорном дисплейном пульте задач реализации человеко-машинного интерфейса для штатных пультов управления СУ;
- проведение на полигоне автономных, комплексных и приёмо-сдаточных испытаний функциональносамостоятельных комплектов СУ до поставки аппаратуры на стенд КМ-1.

Отработка ПТС СУ на полигоне позволяет:

- подтвердить эксплуатационные характеристики ПТС экспериментальным путём до поставки на стенд;
- проверить алгоритмы функционирования и диагностики, выявить и устранить значительный объём ошибок и дефектов ПТС как в процессе проектирования, так и при внесении изменений в алгоритмы по результатам пусконаладочных работ и испытаний СУ.

Особенности создаваемых моделей ТС, как объектов управления:

- полномасштабность, то есть учёт всего технологического оборудования, для которого предусмотрена автоматизация управления и моделирование полного набора сигналов СУ и всех контролируемых параметров;
- всережимность – способность воспроизводить спецификационные переходные эксплуатационные режимы, в том числе аварийные, предусмотренные в техническом обосновании безопасности (ТОБ);
- верификация модели по результатам автономных испытаний оборудования ТС (насосы, клапаны, задвижки и др.) и специальных тестовых экспериментов, проведённых на объектах-аналогах и стендах-прототипах, а также по исходным данным, полученным от заводов-изготовителей комплектующих ТС;
- работа реперной модели в реальном масштабе времени.

Реперная модель аккумулирует большой объём разнородной информации. Поэтому при построении моделей используются средства автоматизации моделирования, имеющие в своём составе универсальную графическую оболочку с набором элементов, соответству-

ющих моделям различных технических средств, что позволяет формировать модели в виде расчётных схем ТС. В качестве такой системы автоматизации моделирования используется инструментально-программный комплекс (ИПК) ТЕРМИТ. К настоящему времени накоплен многолетний опыт применения ИПК ТЕРМИТ для создания сложных математических моделей объектов атомной энергетики, объединяющих математические модели, подготовленные различными коллективами разработчиков [3]. Графическая оболочка ИПК ТЕРМИТ предоставляет возможность визуализации процесса моделирования в самых разных формах: динамический вывод параметров и сигналов, интерактивное задание управляющих воздействий и уставок, редактирование коэффициентов и параметров. Это упрощает и ускоряет процесс отладки алгоритмов функционирования.

Для описания физических систем и алгоритмов в виде математических моделей используется модельно-ориентированное проектирование. При этом для автоматизации процесса проектирования и отладки программного обеспечения (ПО) обеспечивается взаимодействие разработчиков алгоритмов функционирования различных систем. Это взаимодействие основано на решении следующих задач:

- создание единой базы данных со стандартизированным кодированием и описанием всех используемых в СУ сигналов;
- автоматизация моделирования алгоритмов на различных этапах их разработки и отладки, т.е. создание математической модели, имитирующей работу системы управления в составе комплексной реперной математической модели объекта управления;
- унифицированное описание алгоритмов в рамках системы, используемой для автоматизации моделирования. Такое описание выполняется с использованием стандартных языков программирования логических контроллеров (ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016, язык FBD графических диаграмм функциональных блоков, язык SFC последовательных функциональных схем);
- обеспечение автоматизированного контроля внесения изменений в модели и возможности сохранения предыдущих версий.

Например, при реализации алгоритмов СУ технологическими системами реконструируемого стенда КМ-1 используется общая база данных на основе единой системы классификации и кодирования автоматизируемых ТС, сигналов и алгоритмов с их однозначной идентификацией и стандартизированным описанием в соответствии с документом [4] «Система управления технологическими системами стенда КМ-1 (СУ ТСС). Описание систем классификации и кодирования» ЛКВШ 17.204.0000.00 П7.

Имеющиеся в составе ИПК средства генерации расчётных программ позволяют преобразовывать алгоритмы, выполненные в графической среде, в расчётные модули – математические модели, имитирующие работу систем управления. В сочетании с имеющимися средствами графической визуализации выполнения алгоритмов это позволяет оценить заложенные в проект решения и оптимизировать параметры алгоритмов уже на ранних стадиях проектирования.

На начальном этапе проверка алгоритмов выполняется по разомкнутой схеме, когда разработчик задаёт в графической оболочке значения сигналов на входах алгоритма и отслеживает сформированные выходные значения. В дальнейшем проверка алгоритма осуществляется по замкнутой схеме, при которой сигналы обратных связей (то есть значительной части входов алгоритма) генерирует математическая модель объекта управления. По мере завершения проверки и отладки алгоритмов отдельных подсистем СУ происходит формирование ком-

плексной математической модели, в которой объединяются математические модели локальных систем управления (подсистем СУ). Эта комплексная модель включает в свой состав также модуль инициирования и моделирования отказов и неисправностей технических средств, моделирования неисправностей и аварий в технологическом оборудовании и в технологических системах для проектной проверки алгоритмов функционирования в полном объёме.

Графическая среда ИПК позволяет оперативно оформлять функциональные схемы алгоритмов управления согласно требованиям к проектно-конструкторской и эксплуатационной документации. Для этого используются шаблоны отчётности для различных этапов реализации проекта. Формирование отчётности по проекту осуществляется путём автоматического преобразования графических схем в формат, используемый для просмотра или вывода документации на печать. Подготовленные таким образом отчётные документы практически исключают возможность некорректной интерпретации алгоритмов управления различными группами разработчиков СУ при реализации алгоритмов управления на штатной аппаратуре.

Для проведения стендовой отладки алгоритмов ПО организуется обмен данными между аппаратурой системы управления (реализующей алгоритмы) и функционирующей в реальном масштабе времени комплексной математической моделью технологических систем стенда. Первоначально разработанная комплексная модель с помощью сетевых средств стыкуется с программно-техническими средствами в составе пультов управления. Это позволяет в полном объёме проверить полноту и правильность представления информации об объекте управления и устранить ошибки и дефекты ПО, реализуемого на программно-технических средствах верхнего уровня.

На последующих стадиях стендовой отладки происходит поэтапная замена математических моделей алгоритмов подсистем СУ на алгоритмы, выполняемые в приборах управления из состава штатной аппаратуры СУ. Таким образом, происходит переход к гибридной комплексной математической модели, где часть алгоритмов управления выполняется в составе модели, а часть алгоритмов – на штатных программно-технических средствах СУ, при этом обмен данными обеспечивается с помощью сетевых средств. Основная цель, которая преследуется при этом, – проверка корректности функционирования ПО на штатных приборах управления.

Далее в проверку включаются аппаратные средства связи приборов управления с объектом управления: приборы ввода/вывода и приборы сопряжения. Таким образом, происходит переход к проверке и отладке алгоритмов в составе функциональносамостоятельного фрагмента ПТС СУ, являющегося локальной системой управления (ЛСУ), реализующей функции управления одной технологической системой стенда. Для связи этой ЛСУ с моделью требуются дополнительные технические средства, которые рассмотрены ниже. На этой стадии проверки и отладки обеспечивается выявление и устранение ошибок в адресации сигналов системы управления (привязки их к каналам ввода/вывода), а также ошибок в организации обмена сетевыми сигналами между подсистемами СУ как на нижнем, так и на верхнем уровне (пульты управления). На всех этапах отладки алгоритмов ЛСУ имеется возможность проверки полноты и правильности представления информации на программно-технических средствах в составе пультов управления и местных постов управления.

По завершении отладки системы управления для первой ТС (ЛСУ1) описанная методика отладки повторяется для следующей ТС (ЛСУ2). Для этого имеющийся функционально-самостоятельный фрагмент ПТС СУ дополняется необходимым оборудованием ввода-вывода, а ПО приборов управления наращивается для обеспечения функционирования дополнитель-

ного оборудования ввода-вывода и реализации алгоритмов управления вновь отлаживаемой ЛСУ2 из состава ЛСУn, предусмотренных к реализации. После завершения отладки очередной системы управления ЛСУi выполняются контрольные проверки работоспособности ранее отлаженных систем управления (ЛСУ1 – ЛСУi-1) и оценивается влияние вновь созданной ЛСУ на ЛСУ, отлаженные ранее.

На завершающем этапе, после отладки всех ЛСУ, входящих в состав создаваемой очереди (стадии) СУ, выполняется комплексная проверка вводимой очереди СУ и проводятся её приёмо-сдаточные испытания.

Основные преимущества использования технологии проектирования и отладки ПТС СУ с использованием моделирующего комплекса заключаются в следующем:

- все специалисты, участвующие в процессе создания СУ, используют единую базу данных и сигналов, унифицированные программные форматы и документы, что исключает возможность неправильной интерпретации алгоритмов, снижает трудозатраты на устранение неверных трактовок проектных решений;
- на всех этапах обеспечивается наглядность выполнения алгоритмов функционирования при отладке и расчётной проверке, что упрощает поиск ошибок и настройку параметров алгоритмов, обеспечивающих управление непрерывными процессами, например, настройку параметров контуров регулирования, исходя из показателей качества и устойчивости переходных процессов;
- обеспечивается автоматизация контроля внесения изменений в алгоритмы функционирования и фиксация дат обнаружения и устранения ошибок, что позволяет накопить значительный объём статистической информации, которая может и должна быть использована для учёта надёжности ПО в расчётах показателей надёжности СУ;
- на этапе проектирования алгоритмов формируются требования к программно-техническим средствам по объёму входных и выходных сигналов, циклограмме (темпу) обмена информацией, достижимому качеству переходных процессов.

Главное преимущество рассмотренного порядка проектирования и отладки ПТС состоит в том, что значительная часть работ выносится на полигон и в приборы управления СУ загружается ПО, отлаженное на полигоне. Опыт использования такого подхода при создании систем управления объектами использования атомной энергии подтверждает значительное сокращение временных и финансовых затрат на разработку ПО.

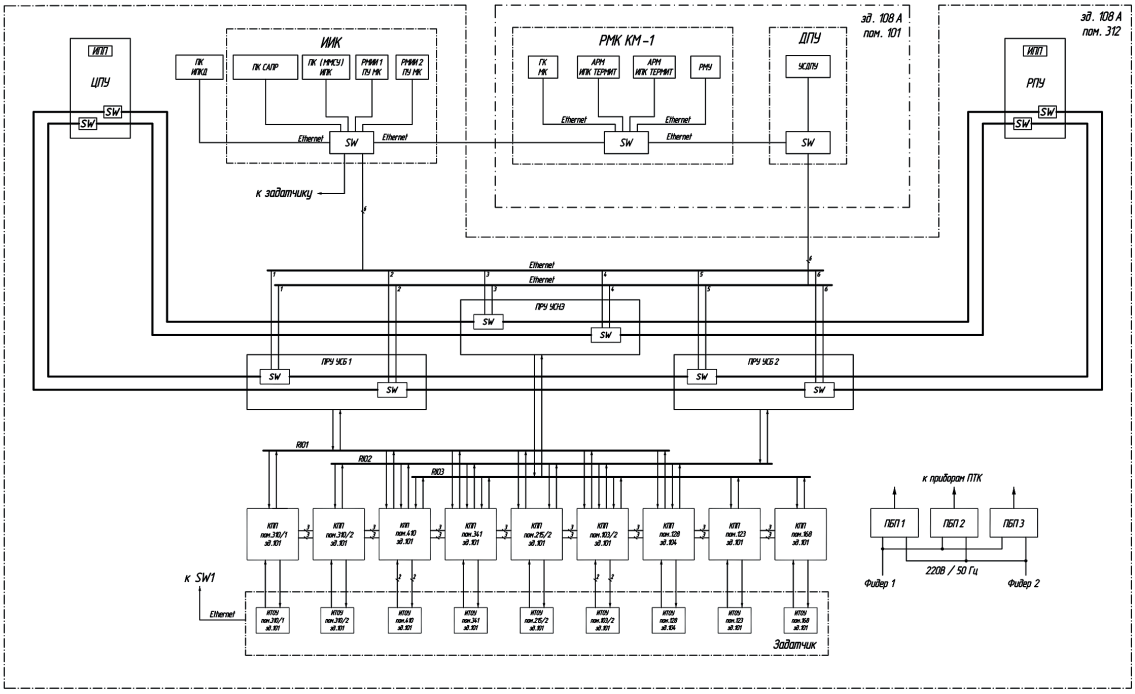
Представленная методика применения расчётно-моделирующего комплекса и комплексных математических моделей в качестве имитаторов всех ТС для целей отладки ПТК СУ может быть использована при создании различных систем управления технологическим оборудованием. Так, например, она лежит в основе проводимых в настоящее время работ по созданию системы управления технологическими системами стенда (СУ ТСС) КМ-1.

СУ ТСС предназначена для централизованного контроля значений технологических параметров и состояния ТСС, безопасного и надёжного управления и защиты технических средств в режимах нормальной эксплуатации, при нарушениях нормальной эксплуатации, включая проектные аварии, а также проведения пусконаладочных и ремонтных работ ТСС

Создание СУ ТСС предусматривает выполнение этих работ в 2 этапа (очереди). При создании первой очереди должно быть запущено оборудование 10 технологических систем, обеспечивающих жизнедеятельность зданий и сооружений стенда, и включающих оборудование электроснабжения, водоснабжения, вентиляции и кондиционирования. В состав 2-й

очереди входят 23 технологические системы, включающих оборудование газоснабжения, холодоснабжения, противодымной вентиляции и т.д.

Структура ПТК «Сова-У» приведена на рисунке 1 «Программно-технический комплекс для отработки, наладки и испытаний стендового оборудования (ПТК «Сова-У»).



АРМ – автоматизированное рабочее место;
ГК – главный компьютер;
ДПУ – дисплейный пульт управления;
ИИК – инженерно-исследовательский комплекс;
ИПКД – инженерный пульт контроля и диагностики;
ИИП – индивидуальные показывающие приборы;
ИТОУ – имитатор технологического объекта управления;
КПП – комплект приборов для помещения;
МК – моделирующий комплекс;
ММСУ – математическая модель алгоритмов СУ;
ПБП – прибор бесперебойного питания;
ПК – персональный компьютер;
ПРУ – прибор управления;
ПТК – программно-технический комплекс;
РМИИ – рабочее место инженера-исследователя;
РМК – расчетно-моделирующий комплекс;
РМУ – рабочее место управления;
РПУ – резервный пульт управления;
УСБ – управляющая система безопасности;
УСПЭ – управляющая система нормальной эксплуатации;
УСДПУ – универсальный сенсорный дисплейный пульт управления;
ЦПУ – центральный пульт управления;
R0 – удаленный ввод / вывод;
SW – сетевой коммутатор.

Рисунок1– Программно-технический комплекс для отработки, наладки и испытаний стендового оборудования ПТК «Сова-У»

ПТК «Сова-У» предусматривает возможность проведения необходимых работ по созданию СУ ТСС стенда КМ-1 и включает перечисленные ниже программно-аппаратные системы.

1. РМК, в составе которого имеются:

– комплексные математические модели динамики технологических систем стенда КМ-1, функционирующие в реальном времени на ЭВМ высокой производительности (ГК МК);

– автоматизированные рабочие места (АРМ) разработчиков моделей ТС, оснащённые программными средствами ИПК ТЕРМИТ;

– рабочее место управления (РМУ) моделирующим комплексом, с которого производится запуск и останов математических моделей, считывание и запись исходных состояний и другие необходимые операции.

Комплексные математические модели имитируют функционирование ТС как объектов управления, а именно:

– формируют значения дискретных и аналоговых сигналов в объёме перечня контролируемых параметров ТС;

– моделируют исполнение команд, выдаваемых из СУ ТС на управляемые технические средства в реальном времени.

Вычислительные средства в составе РМК защищены межсетевым экраном. Обмен информацией с РМК осуществляется по сети Ethernet с использованием сетевых коммутаторов SW.

2. Инженерно-исследовательский комплекс (ИИК) в составе:

– математической модели алгоритмов управления (ММ СУ), реализованной средствами ИПК ТЕРМИТ и используемой в качестве эталонной модели алгоритмов СУ при отладке программного обеспечения (проектов), загружаемого в контроллеры СУ;
– рабочего места (ПК САПР) для разработки ПО, реализующего алгоритмы управления (САПР Unity или LD), и разработки ПО для отображения информации на видеокадрах пультов управления (SCADA – системы InTouch или Альфа-платформа);
– рабочие места инженеров-исследователей (РМИИ) для организации процесса отладки и испытаний алгоритмов и ПО, позволяющих инициировать в моделях ТС события, требующие реакции со стороны СУ ТС, например, имитация показаний КИП, обеспечивающих «срабатывание» алгоритмов управления и сигнализации, моделирование отказов технических средств и аварий технологического оборудования.

3. Универсальный сенсорный дисплейный пульт управления (УСДПУ) [5] в качестве макета пультов управления СУ (ЦПУ, РПУ) с целью обоснования и отработки концепции представления информации и автоматизированного дистанционного управления техническими средствами стенда. На этапе приёмо-сдаточных испытаний УСДПУ заменяется штатными пультами управления.

4. Штатные комплекты приборов для установки в помещениях СУ ТСС (КПП), включающие в свой состав от одного до трёх канальных комплектов приборов (УСБ1, УСБ2, УСНЭ) для каждой очереди СУ.

5. Комплект «Задатчик» имитаторов технологического объекта управления (ИТОУ) функционально разделен на группы в соответствии с КПП, расположенными в помещениях СУ. Каждый ИТОУ содержит модули дискретного ввода и аналогового и дискретного вывода для связи с модулями ввода-вывода КПП, расположенном в том же помещении.

6. Персональный компьютер (ПК), выполняющий функции инженерного пульта контроля и диагностики аппаратуры системы управления (ИПКД).

7. Сетевые средства Ethernet (коммутаторы SW), обеспечивающие обмен информацией между компонентами полигона.

Структура ПТК «Сова-У» и особенности отладки ПТС СУ предполагают следующую конфигурацию загружаемого программного обеспечения:

– проект системного и функционального программного обеспечения для УСДПУ и ИПКД функционирует в полном объёме;
– проект системного и функционального программного обеспечения для ПТС СУ функционирует в объёме отлаживаемого функциональносамостоятельного комплекта;
– функции смежных подсистем управления выполняются эталонной моделью алгоритмов системы управления в составе РМК.

Управление функционированием РМК осуществляется с пульта, с помощью которого разработчик ПО имеет возможность:

- запуска и останова математической модели;
- считывания и записи исходных состояний;
- инициирования моделей отказов технических средств и аварий технологического оборудования;
- инициирования моделей имитации показаний контрольно-измерительных приборов, обеспечивающих «срабатывание» алгоритмов управления и сигнализации и т.д.

Контроль выполнения программ, загруженных в ПТС пультов управления и в приборы управления в составе испытываемого комплекта аппаратуры, осуществляется с использованием САПР (применяемых для разработки ПО), обеспечивающих режим анимации выполнения программ, что позволяет разработчикам ПО оперативно обнаруживать и устранять ошибки. В процессе отладки и испытаний все обнаруженные ошибки и дефекты в ПО фиксируются в журнале с указанием даты и времени обнаружения, даты и времени устранения, категории ошибки (приводит к невыполнению функции, вызывает нарушение выполнения функции, приводит к выполнению функции с отклонениями в отображении информации или её регистрации). Накопленная статистика используется в качестве исходных данных при оценке надёжности программного обеспечения.

В процессе отладки выполняются следующие виды работ по отладке не только алгоритмов функционирования, но и проверку информационных функций, функций контроля и обеспечения отказоустойчивости:

- обработка измерительной информации и представление её на пультах;
- автоматизированное дистанционное управление исполнительными механизмами по командам оператора с пульта;
- формирование и обмен сигналами между управляющей системой безопасности по технологическим параметрам (УСБТ) и смежными локальными системами управления;
- автоматизированное управление режимами функционирования ТС;
- проверка и отладка ПО в условиях моделирования нормальной эксплуатации технологического оборудования стенда (отладка эталонных алгоритмов), моделирования неисправностей оборудования, задействованного в алгоритме управления, имитации неисправностей в аппаратуре СУ, реализующей алгоритм функционирования;
- проверка проведения технологических режимов, требующих сочетания функций автоматического управления и автоматизированного дистанционного управления;
- проверка функций контроля и формирования сигналов о неисправностях и отказах;
- проверка устойчивости к единичным отказам системных и функциональных модулей;
- устойчивость к отказам электропитания;
- подтверждение отдельных эксплуатационных характеристик программно-технических средств СУ;

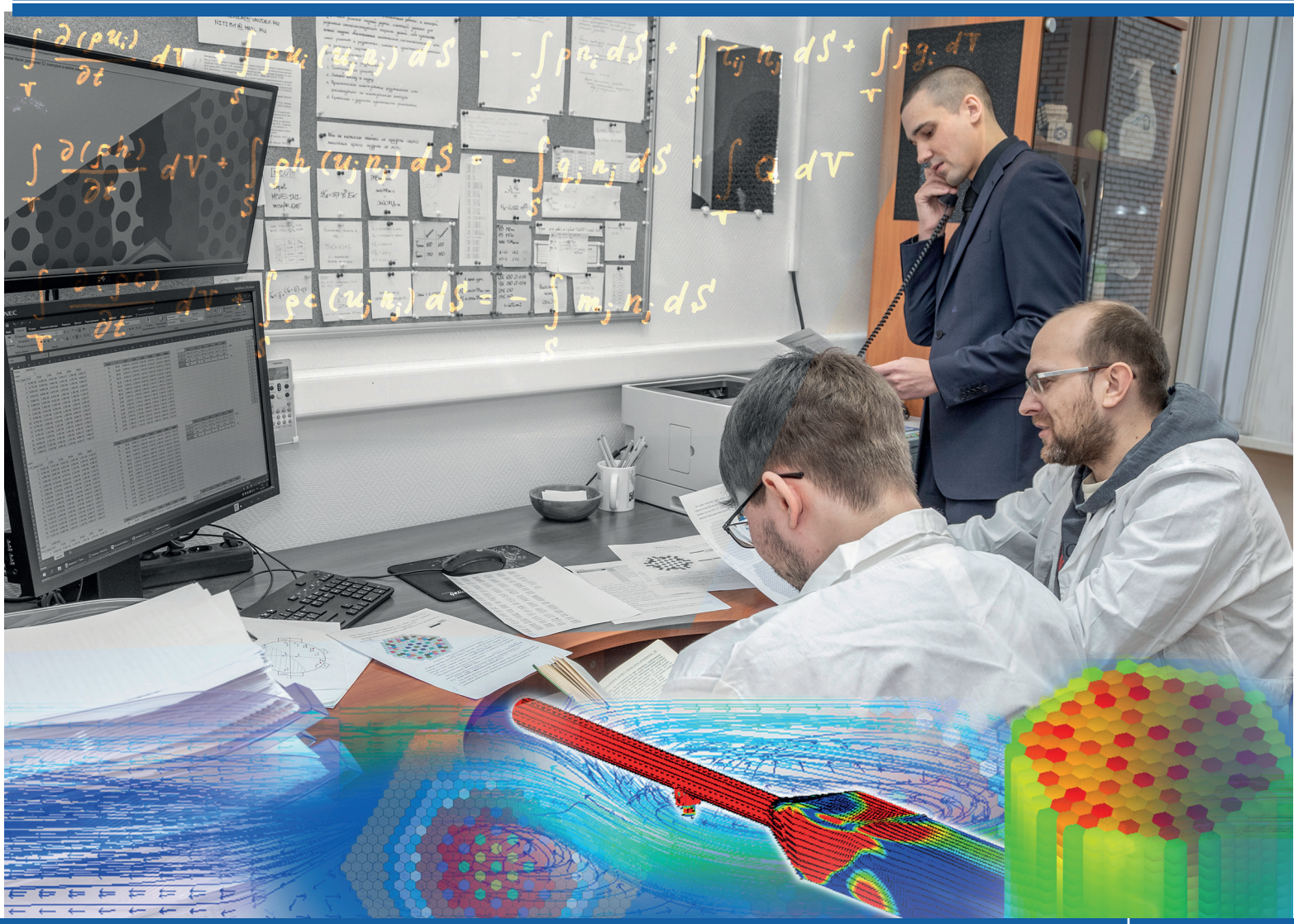
– отработка методик проведения потенциально опасных работ.

Изготовление и ввод в действие создаваемого ПТК «Сова-У», обеспечивающего применение комплексных математических моделей в качестве имитаторов ТС для целей отработки, наладки и испытаний ПТС СУ ТСС, планируется завершить в 2023 году.

Литература

1. СУ ТСС. ПТК для отработки, наладки и испытаний программно-технических средств на полигоне. ЛКВШ 17.204.6000.00. – 2021.
2. Технология проектирования и отладки программного обеспечения СУ стендовой ЯЭУ с использованием инструментально-программных комплексов моделирования / Батраков С.В. [и др.] // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок. – Сосновый Бор: ФГУП НИТИ, 2017. – Вып. 2 (8). – С. 26–38.
3. Программно-технический комплекс «Виртуальный энергоблок АЭС с ВВЭР» (ПТК «ВЭБ») для проверки проектных решений АЭС-2006 / Безлепкин В.И. [и др.] – URL: http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings /mntk2013/documents / mntk2013-168.pdf.
4. «Система управления технологическими системами стенда КМ-1 (СУ ТСС). Описание систем классификации и кодирования» ЛКВШ 17.204.0000.00 П7. – НИТИ им. А.П. Александрова, 2021.
5. 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. – Сосновый Бор: ФГУП НИТИ, 2016. – Вып. № 3 (5). – С. 71–74.

4



4. Нейтронно-физические и теплофизические исследования

НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

А.В. Ельшин

В 2021 году в отделе нейтронно-физических исследований (ОНФИ) были продолжены работы, направленные на развитие расчётных и экспериментальных средств, предназначенных для исследования нейтронно-физических характеристик реакторных установок (РУ).

Для обеспечения развития комплекса программ САПФИР_95&RC_ВВЭР продолжена разработка и верификация модуля для проведения нестационарных сопряженных нейтронно-физических и теплогидравлических расчётов ВВЭР.

Была подготовлена и апробирована потвэльная модель активной зоны РУ с жидкометаллическим теплоносителем стенда КМ-1. Апробация разработанной расчётной модели проведена на базе уникальных экспериментальных данных, полученных при проведении ресурсных испытаний РУ на стенде КМ-1 в 80-е годы XX века.

В рамках послереакторных исследований отработавших ТВС активной зоны РУ стенда КВ-1 с использованием имеющихся в ОНФИ программных средств был проведен анализ результатов гамма-сканирования.

Выполнена верификация расчётной модели с использованием программы MCU-FR, предназначенной для уточнения радиационной обстановки при проведении послереакторных исследований.

Разработанный специалистами ОНФИ на основе современной элементной базы мобильный линейный импульсно-токовый измеритель «ЛИМИТ», предназначенный для обеспечения контроля плотности потока нейтронов и проведения нейтронно-физических измерений, успешно прошёл испытания на воздействие внешних факторов.

Более подробно некоторые направления исследований ОНФИ представлены в публикующихся в настоящем разделе статьях.

4.1 Разработка потвэльной расчётной модели активной зоны РУ стенда КМ-1

В.Г. Артемов, Д.Ю. Бессонов, А.Н. Кузнецов

Введение

Особенностью РУ стенда КМ-1 является использование свинцово-висмутового теплоносителя. Эксперименты, проведенные на стенде в ходе ресурсных испытаний, представляют собой уникальный материал для верификации расчётных кодов, нацеленных на моделирование НФХ РУ с жидкометаллическим теплоносителем. В 2021 году выполнены работы по подготовке и апробации потвэльной модели активной зоны РУ стенда КМ-1 на основе комплекса программ (КП) САПФИР_РФ&RC.

Краткая характеристика подхода к моделированию

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

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

Подготовка малогрупповых характеристик ячеек (коэффициентов уравнения диффузии нейтронов) осуществлялась в два этапа. На первом этапе на основе файлов оцененных ядерных данных с учётом специфики активной зоны 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 активной зоны и элементах отражателя рассчитывался многогрупповой спектр нейтронов, с весом которого усреднялись сечения по энергии и по пространственным областям – эффективным зонам, соответствующих кассетам и фрагментам отражателя.

В комплексе программ САПФИР_РФ&RC реализованы два подхода к моделированию потвэльного энерговыделения:

- методом суперпозиции микрораспределения потока нейтронов внутри кассеты, полученного по программе САПФИР_РФ, и макрораспределения потока в активной зоне реактора, полученного по покассетной модели в программе RC;
- прямой расчёт потвэльного энерговыделения по потвэльной модели в программе RC.

Ранее, в 2020 году, была подготовлена и апробирована покассетная модель, которая позволила реализовать первый подход [4].

Второй подход, основанный на потвэльной модели, очевидно является более ресурсоёмким как на стадии подготовки модели, так и на стадиях проведения расчётов и анализа результатов. Однако в связи с фактически потвэльной компоновкой активной зоны стенда КМ-1 мог позволить существенно повысить точность моделирования энерговыделения в периферийной области. Поэтому в 2021 году была разработана и апробирована потвэльная модель.

Тестирование потвэльной модели проведено на основе сопоставления с результатами, полученными с использованием программы MCU-FR [5], аттестованной для расчёта быстрых реакторов.

Расчёт групповых характеристик ячеек активной зоны и отражателя

Для расчёта пространственно-энергетического распределения нейтронов и подготовки констант для размножающих ячеек активной зоны с использованием программы САПФИР_РФ подготовлены трёхзонные модели пин-ячеек для твэлов каждого из 6-ти обогащений (см. рисунок 1).

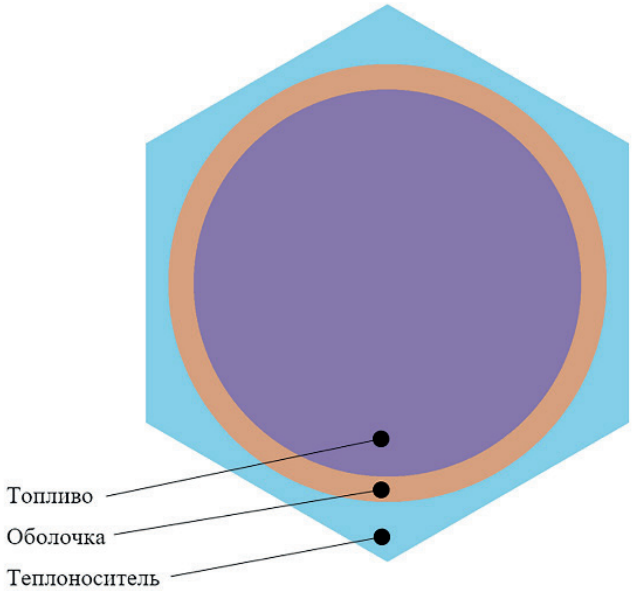


Рисунок 1 – Расчётная модель пин-ячейки твэла

Для расчёта спектра нейтронов и групповых констант для уравнения диффузии нейтронов в областях, занимаемых стержнями органов регулирования и элементами отражателя, подготовлены расчётные модели, имитирующие 1/12 часть активной зоны. Пример представлен на рисунке 2.

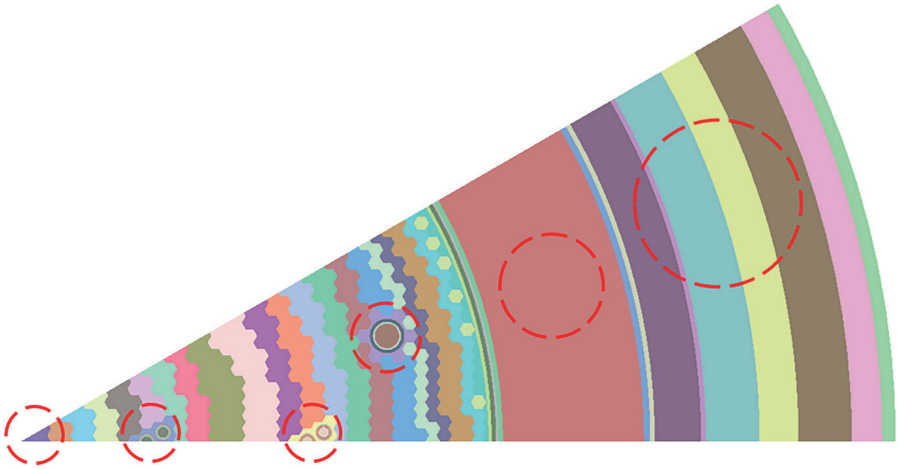


Рисунок 2 – Модель 1/12 активной зоны для расчёта нейтронно-физических констант для слоев бокового отражателя и органов регулирования

Красной пунктирной линией на рисунке 2 отмечены зоны, нейтронно-физические свойства которых после соответствующей гомогенизации были использованы при подготовке потвэльной трёхмерной расчётной модели активной зоны с отражателями для программы RC. Суть подхода к расчёту нейтронно-физических характеристик нетопливных элементов активной зоны заключается в том, что при подготовке констант для этих элементов в программе САПФИР-РФ необходимо корректно учесть влияние на спектр нейтронов в этих элементах окружающих их твэлов – источников нейтронов. Используемая схема подготовки констант для ОР проиллюстрирована на рисунке 3 на примере фрагмента активной зоны, показанного на рисунке 2.

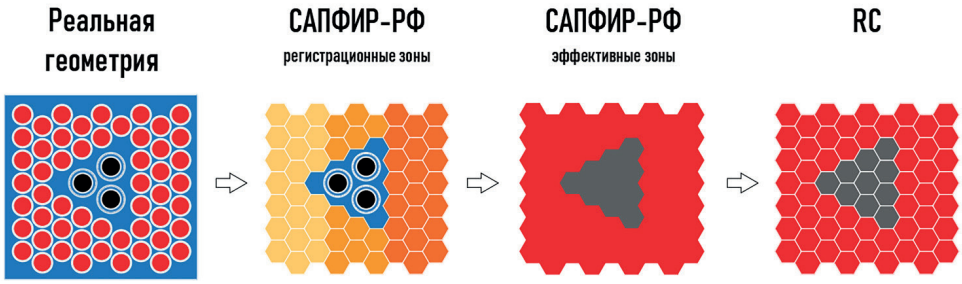


Рисунок 3 – Схема подготовки констант для ОР

При подготовке констант в модели для программы САПФИР-РФ геометрия органов регулирования воспроизводится точно. Твэлы гомогенизируются с теплоносителем, поскольку, как показали расчётные исследования, благодаря быстрому спектру нейтронов такое приближение не вносит существенной погрешности, зато позволяет значительно снизить ресурсоемкость модели. После решения спектральной задачи в программе САПФИР_РФ нейтронно-физические свойства элементов гомогенизируются по пространству таким образом, чтобы точно соответствовать описанию в программе RC, которая опирается на регулярную треугольную расчётную сетку. Следует отметить, что при таком подходе расчётная эффективность органов регулирования несколько возрастает из-за увеличения поверхности поглощения при гомогенизации, поэтому требуется корректировка их поглощающей способности на основе апробации на экспериментальных данных или результатах прецизионных расчётов.

Модель расчёта потвэльного энерговыделения в программе RC

Потвэльная модель была разработана в дополнение к покассетной модели, которая была ориентирована на методику, реализованную и отработанную в КП САПФИР_РФ&RC при моделировании реакторов с тепловым спектром нейтронов [6]. В отличие от моделей для реакторов на тепловых нейтронах, обе модели (покассетная и потвэльная) для реактора стенда КМ-1 опираются на 16-групповое представление энергетического спектра нейтронов.

Применительно к активной зоне стенда КМ-1 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. Покассетная модель активной зоны использует разбиение каждого из 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 4 представлена картограмма покассетной модели активной зоны. Модель состоит из девяноста одного расчётного канала, тридцать семь из которых образуют активную зону. Серым цветом выделены каналы отражателя. Числами на картограмме обозначена нумерация каналов активной зоны.

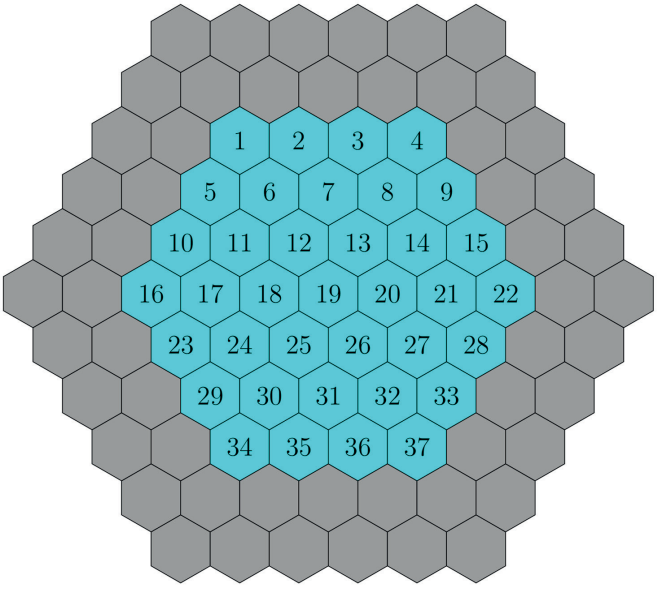


Рисунок 4 – Картограмма покассетной расчётной модели для программы RC

С учётом дополнительного разбиения внутри кассет картограмма, представленная на рисунке 4, разворачивается в полную картограмму, представленную на рисунке 5. Серым цветом обозначены каналы, относящиеся к боковому отражателю.

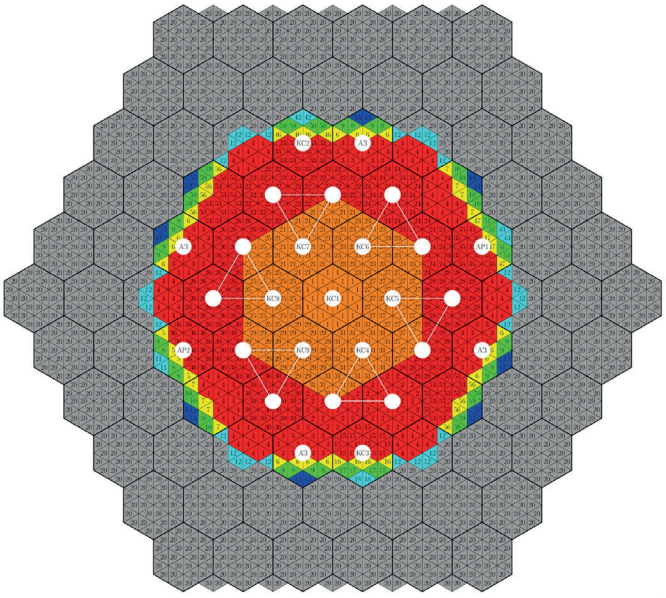


Рисунок 5 – Развернутая картограмма покассетной модели активной зоны для программы RC

Подготовка потвэльной модели активной зоны для программы RC с алгоритмической точки зрения выглядит проще. Однако с технической точки зрения требует значительно больших ресурсных затрат. Размер единичной расчётной ячейки соответствует размеру пин-ячейки твэла. Таким образом, с учётом отражателя потвэльная расчётная модель содержит 17557 каналов со всеми вытекающими отсюда трудностями. На рисунке 6 представлена картограмма потвэльной модели. Оттенками синего цвета на рисунке 6 отмечены расчётные ячейки, относящиеся к отражателю, черным – к органам регулирования, остальное – твэлы.

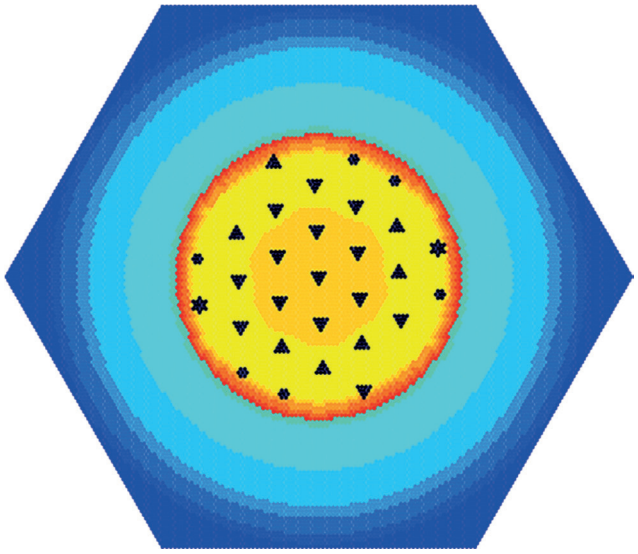


Рисунок 6 – Картограмма потвэльной расчётной модели для программы RC

Тестирование потвэльной расчётной модели

Наиболее ярко потвэльная расчётная модель отличается от покассетной в периферийной области активной зоны. На рисунке 7 это различие продемонстрировано на основе сопоставления результатов моделирования потвэльного энерговыделения в одном из реально зарегистрированных состояний активной зоны при энерговыработке 27%.

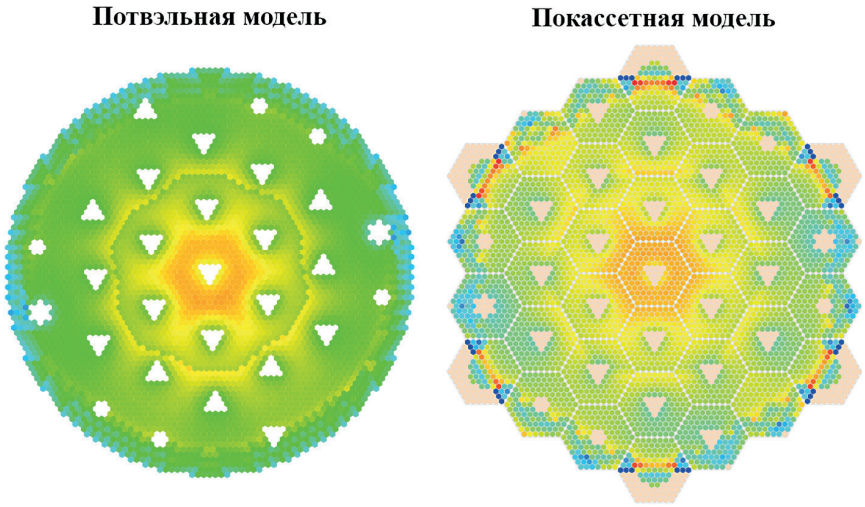


Рисунок 7 – Сопоставление результатов моделирования энерговыделения при энерговыработке 27% покассетной и потвэльной расчётных моделей

Тестирование потвэльной модели проведено на основе сопоставления с потвэльной моделью для программы MCU-FR. На рисунке 8 представлено потвэльное распределение в начале кампании при извлеченных органах регулирования.

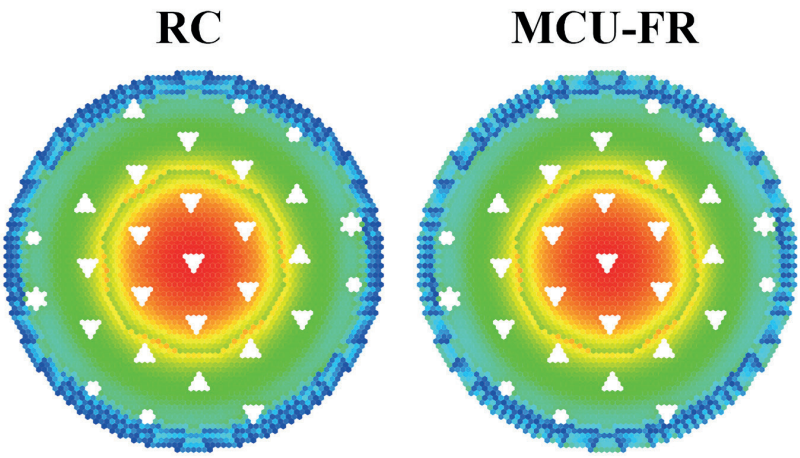


Рисунок 8 – Потвэльное распределение энерговыделения в начале кампании с выведенными органами регулирования

Потвэльная модель для программы RC демонстрирует тенденцию к завышению неравномерности энерговыделения, однако все основные особенности распределения энерговыделения передает верно.

Более детально точность моделирования распределения энерговыделения продемонстрирована на рисунках 9 и 10 на основе центральной и периферийной областей активной зоны. На каждом из рисунков приведено распределение энерговыделение при введенных и извлеченных органах регулирования. Цветом отображено распределение энерговыделения. Отклонение от результатов, полученных с использованием MCU-FR, приведено в процентах в нижней части каждой расчётной ячейки.

В центральной области отклонение от MCU-FR не превышает 5 % даже при введенных органах регулирования, когда возникает существенный градиент энерговыделения.

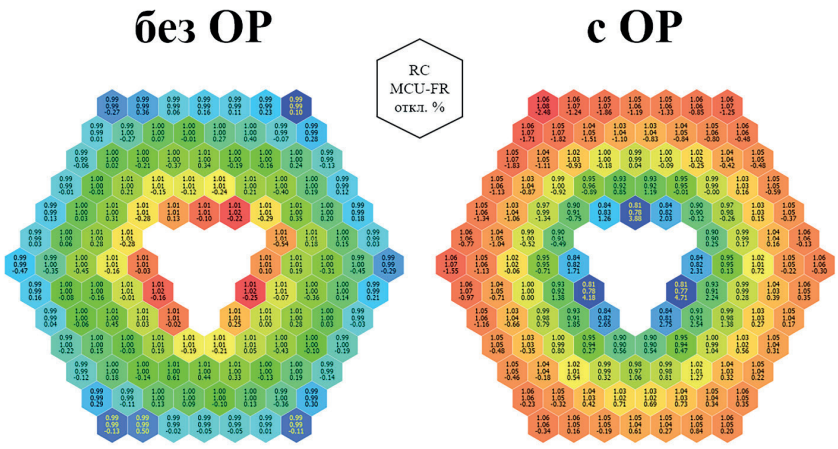


Рисунок 9 – Потвэльное распределение энерговыделения в центральной области

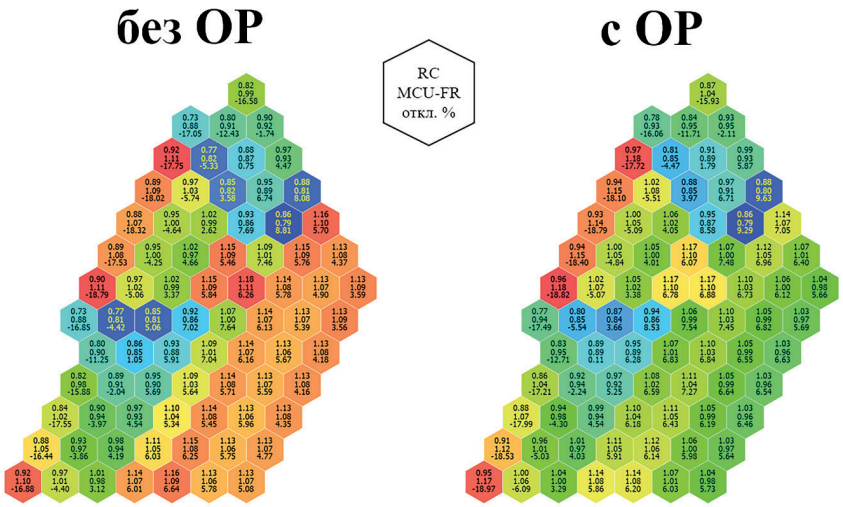


Рисунок 10 – Потвэльное распределение энерговыделения в периферийной области

В периферийной области под вопросом остается моделирование энерговыделения в крайнем ряду твэлов: из-за наличия мощного бериллиевого пояса в боковом отражателе в область периферийных твэлов происходит существенная натечка нейтронов, что приводит к всплеску энерговыделения. В модели для программы RC этот эффект выражен слабее, чем в модели для программы MCU-FR. Однако, в программе RC существуют инструменты для усиления этого эффекта при необходимости.

Результаты апробации модели при расчёте изменения потвэльного энерговыделения по кампании

Расчётная модель для программы RC позволяет смоделировать изменение распределения энерговыделения по кампании. Результаты моделирования представлены на рисунке 11.

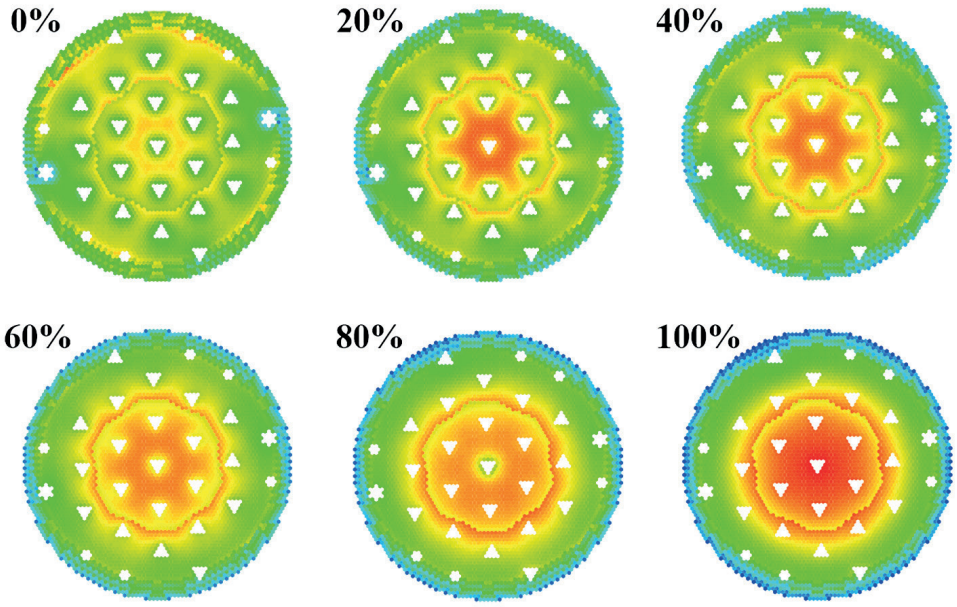


Рисунок 11 – Изменение энерговыделения по кампании, промоделированное с использованием потвэльной модели для программы RC

В процессе кампании органы регулирования извлекаются из активной зоны, обеспечивая компенсацию потери реактивности при выгорании топлива в активной зоне. Приведенные на рисунке 11 картограммы иллюстрируют влияние органов компенсации реактивности на распределение энерговыделения в активной зоне. Просматривается явная тенденция к увеличению энерговыделения в центральной области по мере извлечения компенсирующих стержней из активной зоны в процессе выгорания топлива.

Заключение

В дополнение к покассетной модели подготовлена потвэльная расчётная модель активной зоны РУ стенда КМ-1 для программы RC. Модель протестирована на основе сопоставления с результатами расчёта по прецизионной программе MCU-FR и апробирована на основе моделирования изменения энерговыделения по кампании. Результаты разработки, тестирования и апробации расчётной модели показали перспективность использования САПФИР_РФ&RC для моделирования потвэльного энерговыделения в активной зоне стенда КМ-1.

Литература

1. Программа САПФИР_ВВР95 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 реактора / А.С. Иванов, А.С. Карпов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2018. – Вып. 1. – С. 27–34.
3. Комплекс программ САПФИР_ВВР95-RC: аттестационный паспорт ПС № 261 от 23.09.2009.
4. Разработка расчётной модели нейтронно-физических процессов РУ стенда КМ-1 / В.Г. Артемов, Д.Ю. Бессонов, А.С. Иванов, П.А. Михеев // Годовой отчёт 2020. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». – 2021. – С. 69–74.
5. Верификация и валидация программы для ЭВМ «MCU-FR»; инв. № 4953-Н.4х.241.9Б.18.1012-1/ВО-1. – Москва ИБРАЭ РАН; НИЦ «Курчатовский институт», 2018. – С. 406.
6. Анализ температурного состояния твэлов на основе сопряженных 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 константы. – 2014. – Вып. 4.

4.2 Моделирование потвэльного энерговыделения в эксперименте по отключению двух смежных из четырёх работающих главных цируляционных насосов на РУ ВВЭР-1000

В.Г. Артемов, Л.М. Артемова, В.Г. Коротаев, А.Н. Кузнецов

На протяжении последних трёх лет в отделе нейтронно-физических исследований НИТИ в рамках развития комплекса программ (КП) САПФИР_95&RC_ВВЭР [1] идет разработка

и верификация модуля для проведения нестационарных потвэльных нейтронно-физических расчётов ВВЭР. Итогом этой работы стала возможность создания потвэльных моделей для сопряженных нестационарных нейтронно-физических и теплогидравлических расчётов ВВЭР, реализованная в комплексе программ КОРСАР-RC, разработанном на основе теплогидравлический расчётного кода (РК) КОРСАР/ГП [2].

В стационарных расчётах по КП САПФИР_95&RC_ВВЭР реализованы и отработаны два метода расчёта потвэльного энерговыделения – метод суперпозиции микро- и макропотока и комбинированный «мелкосеточный» метод (pin-by-pin), в котором узлы радиальной расчётной сетки в активной зоне совпадают с центрами твэлов ТВС. Мелкосеточный расчёт проводится с известными распределениями выгорания, температуры топлива и плотности теплоносителя, полученными на основе расчёта потвэльного энерговыделения методом суперпозиции, поэтому такой подход получил название комбинированный метод [3].

Расчёт методом суперпозиции проводится с помощью программы САПФИР_95&RC_ВВЭР.2 (далее RC_ВВЭР) [4], расчёт мелкосеточным методом проводится с помощью программы САПФИР_95&RC_micro (далее RC_micro) [5]. На основе этих методов разработана технология нестационарного сопряженного нейтронно-физического и теплогидравлического расчёта в потвэльном приближении, реализованная в комплексе программ КОРСАР-RC. Основой программной реализации этого комплекса является системный теплогидравлический расчётный код (РК) КОРСАР/ГП [6], на базе которого подготовлен компонент, выполняющий нестационарный теплогидравлический расчёт. В качестве компонента, выполняющего нестационарный нейтронно-физический расчёт, используется программа RCkin, в которой реализованы оба метода расчёта потвэльного энерговыделения. В нестационарных расчётах теплогидравлические параметры обратных связей как для макрорасчёта, так и для микрорасчёта поставляются кодом КОРСАР/ГП.

Технология сопряженного нестационарного нейтронно-физического и теплогидравлического расчёта с использованием двух методов потвэльного расчёта энерговыделения отработана и проверена при моделировании потвэльного международной тестовой задачи «Benchmark Rostov 2» [7].

В 2021 году одной из тестовых задач для верификации сопряжённого нестационарного расчёта являлось моделирование динамического испытания с отключением двух из четырёх ГЦН, проведённого на 6-м блоке АЭС «Козлодуй». Испытание было проведено на мощности 90 % $N_{ном}$ на момент кампании 172 эффективных суток первой топливной загрузки [8].

В исходном состоянии перед началом испытаний регулирующая 10-я группа находилась в положении 78 % от низа активной зоны. В начальный момент испытания были отключены ГЦН первой и второй петли. После чего регулятор ограничения мощности (РОМ) начал разгружать реактор. По сигналу отключения двух из четырёх ГЦН на мощности выше 75 % $N_{ном}$ сработала ускоренная разгрузка блока (УРБ), и в активную зону была введена первая группа ОР СУЗ.

Дальнейшая разгрузка мощности до уровня менее 45 % от номинальной происходила за счёт работы РОМ введением регулирующей 10-й группы после чего РУ была переведена в режим поддержания заданной мощности.

Схема проведения расчёта состояла из следующих этапов:

– подготовка малогрупповых диффузионных констант для расчёта методом суперпозиции и мелкосеточным методом в программе САПФИР_95;

- подготовка расчётных моделей для первой загрузки 6-го блока АЭС «Козлодуй» для обоих методик расчёта для программ RC_ВВЭР и RC_micro соответственно;
- расчёт первой кампании 6-го блока АЭС «Козлодуй» с подбором длины кампании с поиском критической концентрации борной кислоты в теплоносителе в программе RC_ВВЭР;
- расчёт потвэльного энерговыделения в рассчитанные моменты кампании методом суперпозиции в программе RC_ВВЭР;
- подготовка на основе расчёта потвэльного энерговыделения методом суперпозиции архивов потвэльного выгорания, плотности теплоносителя и температуры топлива для мелкосеточного метода расчёта;
- проведение динамического сопряженного нейтронно-физического и теплогидравлического расчёта режима с отключением двух смежных из четырёх работающих ГЦН от момента с рабочими параметрами, соответствующими началу эксперимента с расчётом потвэльного энерговыделения методом суперпозиции и мелкосеточным методом.

Результаты моделирования показаний датчиков аппаратуры контроля нейтронного потока (АКНП) в сравнении с экспериментальными данными показаны на рисунке 1.

В качестве экспериментальных значений рассматриваются два комплекта АКНП, каждый из которых включает три измерительных канала, расположенных равномерно по азимуту в соответствии с проектной документацией. Расчёт среднего значения мощности по каждому из комплектов АКНП включает в себя учёт постоянной времени измерения нейтронного потока и усреднение по трём каналам.

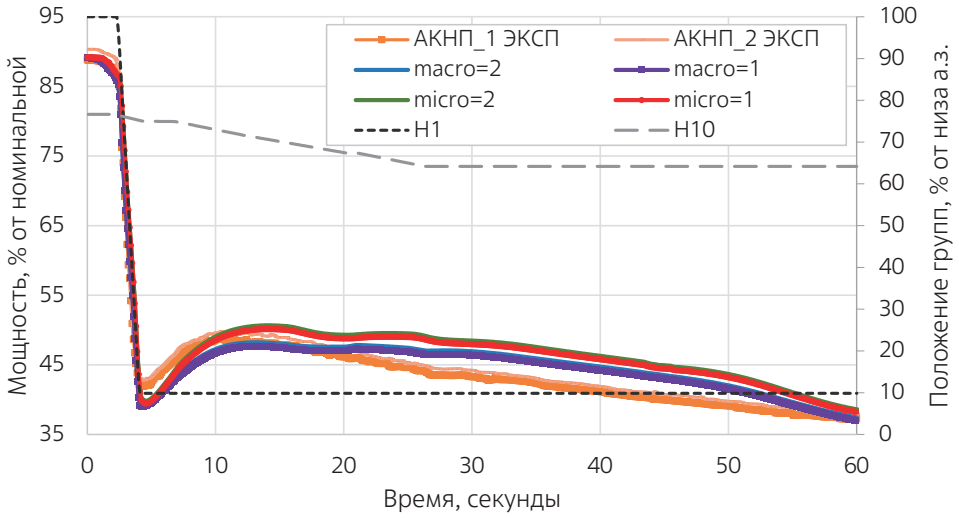


Рисунок 1 – Результат расчёта показаний датчиков АКНП

Изменение положения регулирующих групп в процессе нестационарного режима моделировалось в соответствии с данными измерений. Результаты расчётов качественно воспроизводят все характерные особенности режима: быстрое снижение мощности в результате введения первой группы по сигналу УРБ, подъём мощности за счёт обратных связей, стабилизация мощности путём перемещения рабочей группы № 10.

На рисунках 2–4 представлены результаты сравнения покассетного энерговыделения, полученного при расчёте методом суперпозиции (макро-расчёт) и мелкосеточным

методом (микро-расчёт). Результаты расчётов полей энерговыделения приведены для четырёх моментов режима:

- 0 секунд – начальное состояние до введения возмущения;
- 4 секунды – момент полного погружения первой группы;
- 60 секунд – стабилизация уровня мощности.

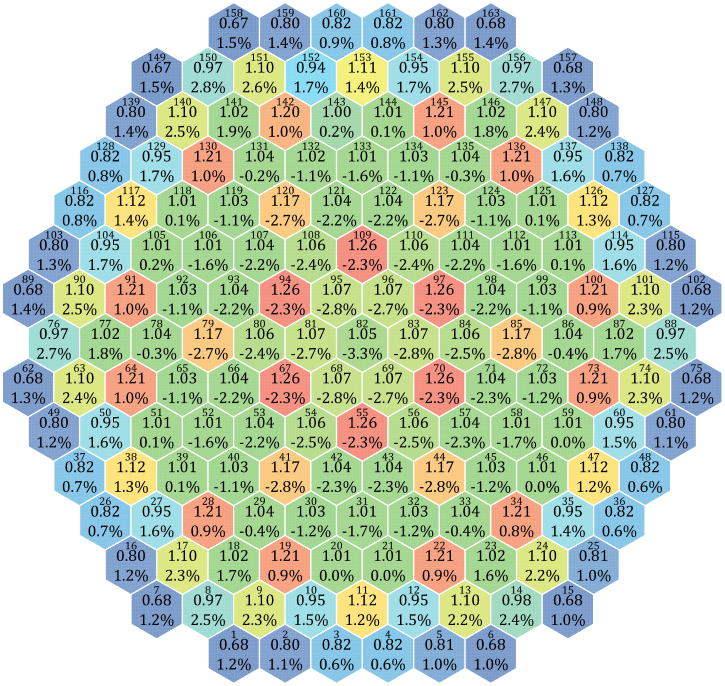


Рисунок 2 –
Начальное состояние.
Относительное распределение энерговыделения в активной зоне (№ ТВС/ микро-расчёт/ отклонение). Отклонение в максимально напржённой ТВС № 55 – 2.3 %. Среднеквадратичное отклонение – 1,7 %

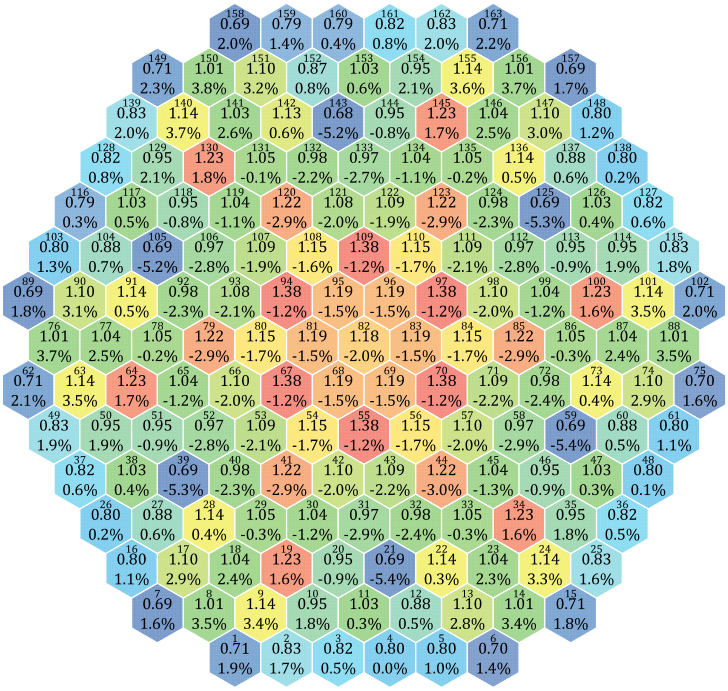


Рисунок 3 –
Момент времени T=4 с.
Относительное распределение энерговыделения в активной зоне (№ ТВС/ микро-расчёт/отклонение. Отклонение в максимально напржённой ТВС № 55 –1.2 %. Среднеквадратичное отклонение – 2.2%

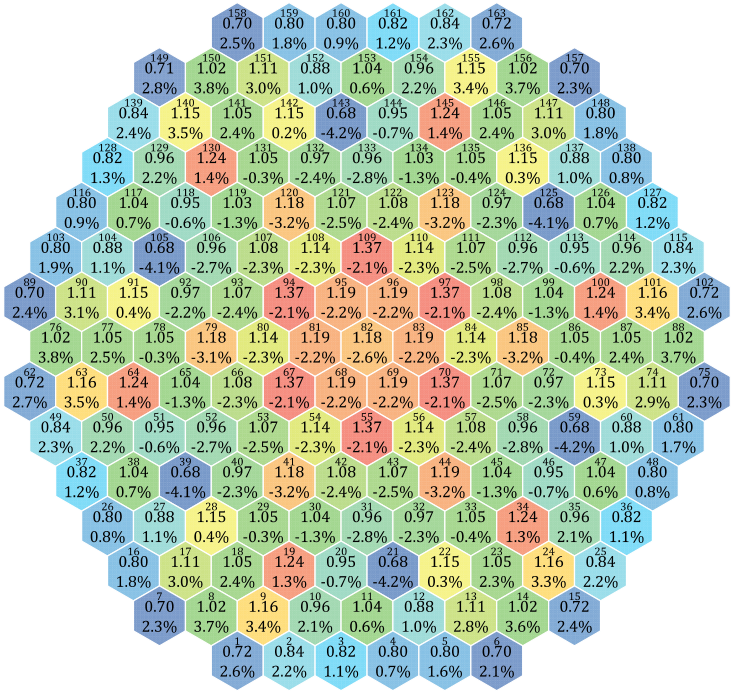
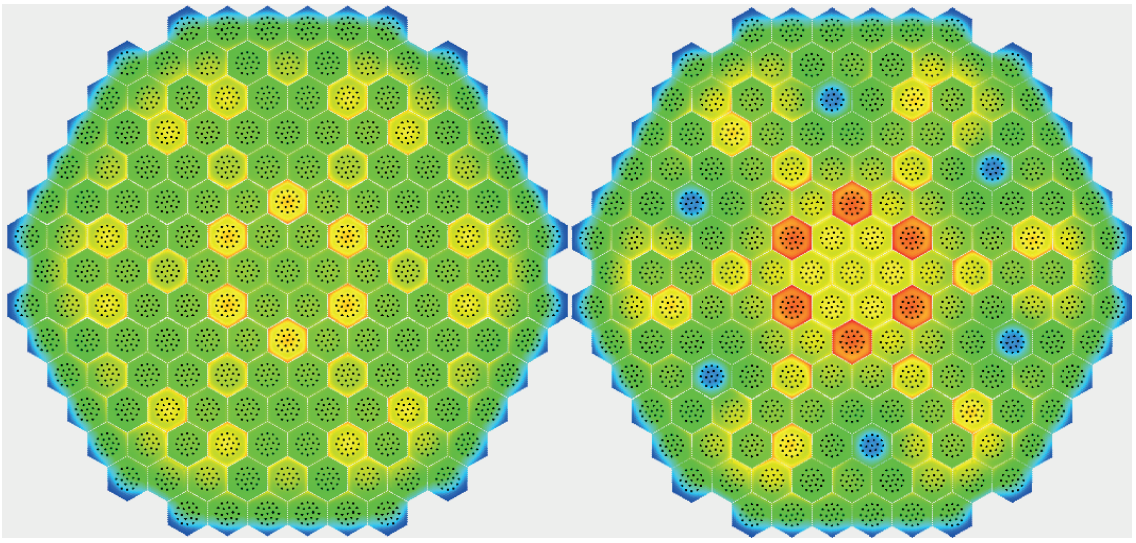


Рисунок 4 –
Момент времени T = 60 с.
Относительное распределение энерговыделения в активной зоне (№ ТВС/ микро-расчёт/ отклонение.
Отклонение в максимально напржённой ТВС № 70 – 2.1 %.
Среднеквадратичное отклонение – 2.3 %

В рассмотренном динамическом режиме изменение распределения относительного энерговыделения в активной зоне в первую очередь связно с введением группы № 1 по сигналу УРБ. Этот фактор оказывает определяющее влияние и на перераспределение потвэльного энерговыделения.

На рисунке 5 показана общая картина изменения относительного потвэльного энерговыделения в активной зоне до (начало режима) и после введения группы № 1 (момент времени T = 4 с).



А) Начало режима

Б) Момент времени T = 4 с

Рисунок 5 – Относительное потвэльное распределение энерговыделения в активной зоне до и после введения группы ОР СУЗ № 1

Наиболее сильно изменяется распределение относительного потвэльного энерговыделения в ТВС (например, № 143), в которых перемещаются стержни первой группы ОР СУЗ.

На рисунке 6 показаны графики изменения мощности твэлов в центре и на периферии ТВС № 143 в сравнении с аналогичными данными для твэлов рядом стоящей ТВС № 144.

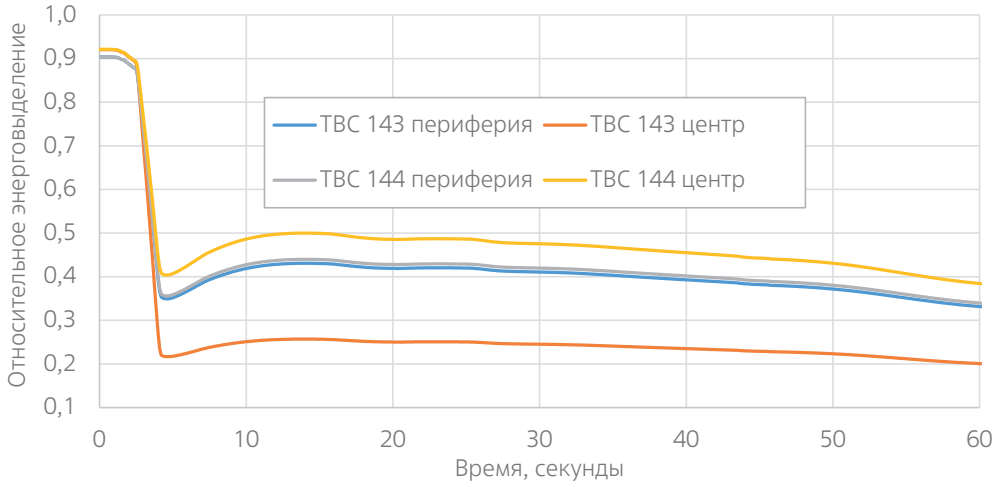


Рисунок 6 – Изменение относительной мощности твэл в кассетах № 143 и № 144

На рисунках 7–8 представлены результаты сравнения распределения относительного потвэльного энерговыделения в ТВС № 143, полученные методом суперпозиции и прямым потвэльным расчётом для начала режима и для момента полного погружения стержней первой группы ОР СУЗ.

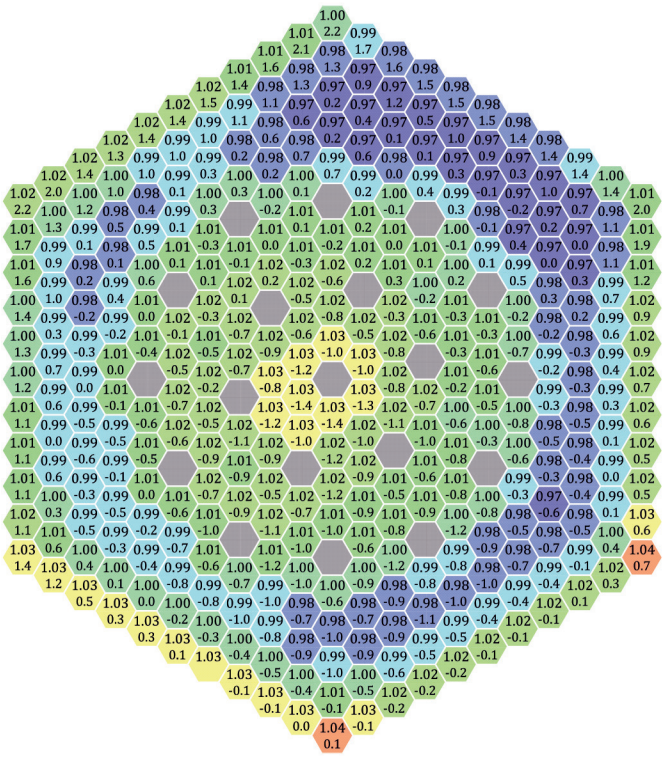


Рисунок 7 –
Начальное состояние.
Относительное распределение энерговыделения в ТВС № 143 (микро-расчёт/относительное отклонение, %).
Отклонение в максимально напряжённом твэле – 0.1 %.
Среднеквадратичное отклонение – 0, 8 %

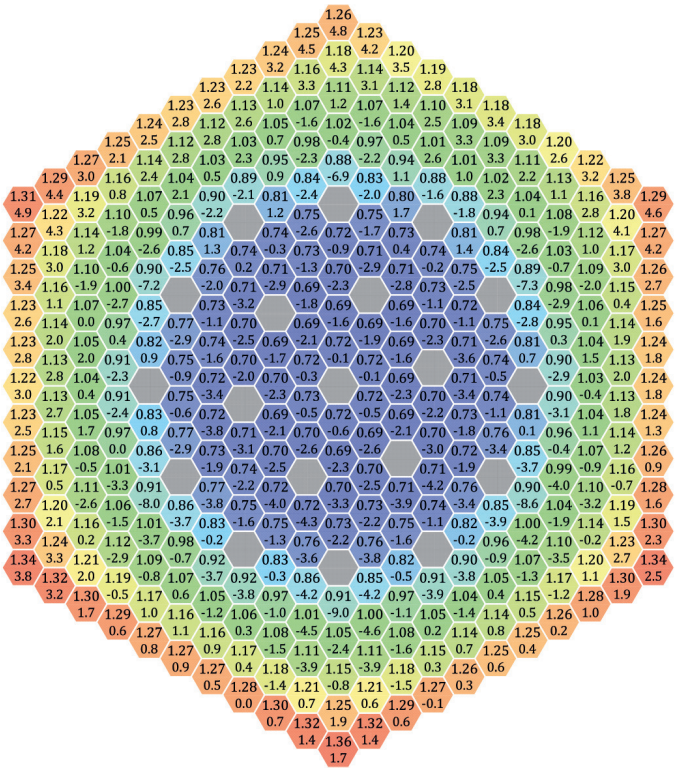


Рисунок 8 –
Момент времени T = 4 с.
Относительное распределение энерговыделения в ТВС № 143 (микро-расчёт/относительное отклонение, %).
Отклонение в максимально напряжённом твэле 1.7 %.
Среднеквадратичное отклонение – 2,6 %

Сравнение результатов расчётов энерговыделения показывает, что наибольшие различия в оценке энерговыделения наблюдаются в ТВС, в которой перемещаются стержни ОР СУЗ, что вполне предсказуемо, поскольку именно в этих ТВС наиболее ярко проявляется различие в алгоритме расчёта, основанном на методике восстановления и прямым потвэльным расчётом. При этом погрешности обоих алгоритмов имеют разную природу. В методе восстановления она определяется детальностью прорисовки макрохода плотности потока нейтронов по ТВС, а в прямом потвэльном расчёте – погрешностью диффузионного приближения в областях с существенными неоднородностями на границах ячеек, в которых движутся стержни ОР СУЗ. С учётом вышеизложенного, различия между расчётами, выполненными с использованием обеих методик, можно рассматривать как оценку методической погрешности потвэльного энерговыделения расчёта снизу. Верификация расчётных моделей в стационарных состояниях показывает, что с реперными результатами расчёта, выполненными методом Монте-Карло, лучше согласуются результаты прямого потвэльного расчёта.

Список литературы

1. Создание комплекса программ для расчёта нейтронно-физических характеристик реакторов типа ВВЭР / В.Г. Артёмов [и др.] // Технология и системы обеспечения жизненного цикла ядерных установок: сборник научных трудов. – СПб: «Менделеев», 2007. – Вып. 5.– С. 20–34.
2. Развитие алгоритмов и методов расчёта потвэльного энерговыделения в КП САПФИР_95&RC_ВВЭР / В.Г. Артёмов [и др.] // Годовой отчёт 2019. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2020. – С. 73–78.

3. Комбинированный метод расчёта потвэльного энерговыделения в комплексе программ САПФИР_95&RC_ВВЭР / В.Г. Артёмов, А.С. Иванов, А.Н. Кузнецов, Ю.П. Шемаев // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы, 2014. – Вып. 3. – С. 85–89.

4. САПФИР_95&RC_ВВЭР.2: аттестационный паспорт программного средства № 321. – Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 18.04.2013.

5. САПФИР_95&RC_micro: аттестационный паспорт программного средства № 496. – Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 19.12.2019.

6. КОРСАР/ГП: аттестационный паспорт ПС № 263. – Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 23.09.2009.

7. Результаты моделирования тестовой задачи «BENCHMARK ROSTOV 2» с использованием комплекса программ САФПИР_95&RC_ВВЭР и КОРСАР / В.Г. Артемов, Л.М. Артемова, В.Г. Коротаев, А.Н. Кузнецов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2019. – Вып. 4.

8. Разработка объединенного комплекса ДКМ для расчёта локальных параметров в активной зоне ВВЭР с учётом трехмерной кинетики / Г.В. Алехин [и др.] // Обеспечение безопасности АЭС С ВВЭР: труды 3-й н-т конференции. – Подольск, 26–30 мая 2003. – Т.2. – С. 25–49.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ю.А. Мигров

Важнейшим достижением отдела в 2021 году является завершение процедуры экспертизы в надзорном органе специализированной версии системного расчётного кода (РК) КОРСАР/ГП с последующей её успешной аттестацией в Экспертном совете применительно к обоснованию безопасности АЭС нового поколения с ВВЭР. Это обеспечивает легитимность практического применения РК КОРСАР/ГП в проектно-конструкторских организациях для выполнения проектных расчётов на длительный период времени (с 2022 по 2031 год).

В 2021 году были существенно активизированы работы по научному сопровождению разработки технического проекта ППУ модернизируемого стендового комплекса КМ-1. При этом работы выполнялись в следующих направлениях:

- дальнейшее совершенствование специализированной версии РК КОРСАР/ЖМТ и её валидация с использованием доступных экспериментальных данных (включая результаты испытаний установки КМ-1 в первой кампании);
- расчёты аварийных режимов ППУ в обеспечение подготовки ТОБ;
- участие в разработке технического проекта электрообогреваемого стенда с жидкометаллическим теплоносителем (ЭТГС) и комплекс расчётных работ в обоснование технологических параметров и конструкции элементов оборудования этого стенда;
- разработка аванпроекта системы контроля, управления и регистрации параметров (СКУиР) стенда ЭТГС.

В 2021 году вступил в завершающую стадию комплекс работ по верификации и валидации расчётного кода нового поколения КОРСАР/3D, обеспечивающего моделирование нестационарных нейтронно-физических и теплогидравлических процессов ВВЭР в 3D-приближении. В соответствии с планами инвестиционного проекта этот комплекс работ должен быть завершен в середине 2023 года с оформлением сводного верификационного отчёта, соответствующего новым требованиям нормативных документов Ростехнадзора.

Продолжались работы по технической поддержке эксплуатации РК КОРСАР/ГП в проектно-конструкторских организациях, включая проведение семинаров по обучению пользователей.

Значительный объём работ был выполнен в отделе по развитию теплофизической экспериментальной базы и созданию специализированного оборудования. Завершены многолетние работы по сооружению стенда ИСТП, предназначенного для исследования двухфазных потоков. Стенд прошёл метрологическую аттестацию и введён в эксплуатацию.

В 2021 году выполнен цикл экспериментов на стенде КОРВЕТ-2 по исследованию влияния загрязнений воды на кризис теплообмена при кипении на вертикальной и наклонной поверхностях корпуса УЛР (устройства локализации расплава), сооружаемого на АЭС нового поколения с ВВЭР, результаты экспериментальных исследований обобщены в отчёте и переданы Заказчику.

Заметным событием 2021 года для отдела и института в целом явилась успешная защита докторской диссертации Ю.В. Юдовым, в которой обобщены результаты работ автора по развитию РК КОРСАР, выполненных в последние годы.

Федеральное бюджетное учреждение
«Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности»
(ФБУ «НТЦ ЯРБ»)

АТТЕСТАЦИОННЫЙ ПАСПОРТ
ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

«КОРСАР/ГП»

регистрационный № 537 от 28 декабря 2021 г.

выдан Федеральному государственному унитарному предприятию «Научно-исследовательский технологический институт имени А.П. Александрова» (ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»).
Адрес: Россия, 188540, Ленинградская обл., г. Сосновый Бор, Копорское ш., 72

срок действия до 28 декабря 2031 г.

Заместитель директора ФБУ «НТЦ ЯРБ»,
Председатель Экспертного совета
по аттестации программ для ЭВМ
при Ростехнадзоре, канд. техн. наук
М.П. (подпись) С.Н. Богдан

ETSON EUROPEAN TECHNICAL SAFETY ORGANISATIONS NETWORK

4.3 Анализ температурной неравномерности в активной зоне реактора с ТЖМТ

А.В. Вакарин, С.Н. Румянцев

В качестве одного из перспективных направлений развития ядерной энергетики в настоящее время рассматриваются реакторные установки (РУ) с тяжёлым жидкометаллическим теплоносителем (ТЖМТ) [1]. В этой связи результаты испытаний РУ транспортного назначения со свинцово-висмутовым теплоносителем (СВТ) в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», проведенных на стенде КМ-1 в 1978–1986 годы, являются уникальными, в частности, для валидации расчётных программ, предназначенных для численного моделирования теплогидравлических процессов в установках с ТЖМТ.

При проведении испытаний впервые была использована автоматизированная система, позволяющая регистрировать экспериментальные данные в цифровом формате. Наиболее информативным для анализа теплогидравлических процессов в активной зоне (а.з.) реактора является поле температур на выходе а.з., измеренное с помощью 129 датчиков температуры, входящих в состав терморешетки.

Непосредственный анализ экспериментальных данных показал, что указанное температурное поле имеет сильную неравномерность, систематически повторяющуюся на разных уровнях мощности в различные моменты кампании, отражая пространственный характер течения СВТ. Это обстоятельство затрудняет прямое применение одномерных программных средств (ПС) для моделирования теплогидравлики а.з. и требует проведения предварительного анализа с использованием расчётных программ, обеспечивающих пространственное моделирование гидродинамических процессов. С этой целью был применен программный комплекс STAR-CCM+.

Анализ экспериментальных показаний температур на выходе активной зоны

Типичная картина показаний термопар для одного из режимов, проведенных на стенде КМ-1, представлена на рисунке 1 в виде поля (поверхности) в декартовых координатах в безразмерном виде.

Из рисунка видно, что поле температуры характеризуется множественными локальными деформациями с рядом выраженных максимумов и минимумов. Данная картина является устойчивой и на качественном уровне проявляется во всех экспериментах.

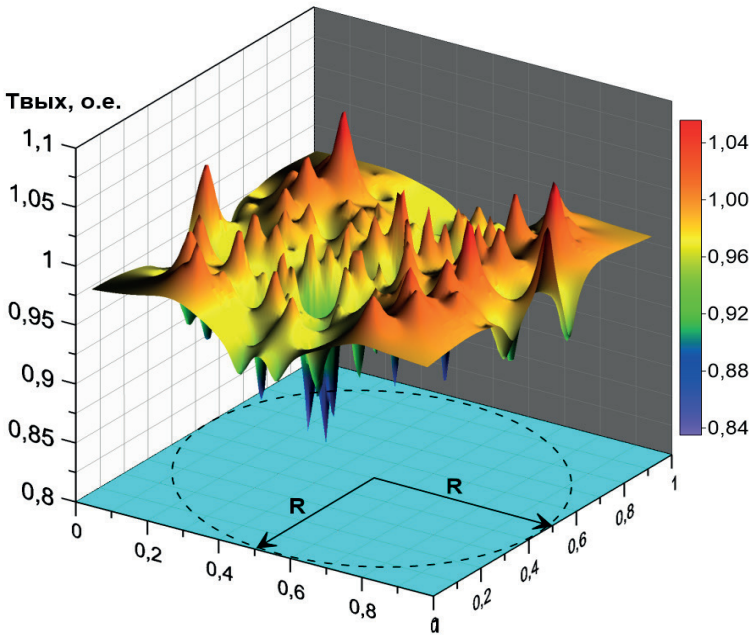


Рисунок 1 – Поле температуры теплоносителя на выходе активной зоны

Результаты предварительного анализа свидетельствуют о том, что сложный рельеф температурного поля обусловлен наличием кессонов со стержнями органов регулирования системы управления и защиты (ОР СУЗ), вносящих существенную неравномерность в регу-

лярную решетку твэлов. Указанные кессоны омываются внутри относительно холодным теплоносителем и имеют перфорацию, что в совокупности формирует сильный градиент температуры вблизи кессонов.

Наглядной демонстрацией «кессонного» эффекта является взаимосвязь показаний термопар с расстоянием их размещения от оси кессонов, представленная на рисунке 2, на котором обобщены показания термопар центральной группы из 7-ми ТВС одного типа, характеризующихся близким энерговыделением и одинаковыми кессонами.

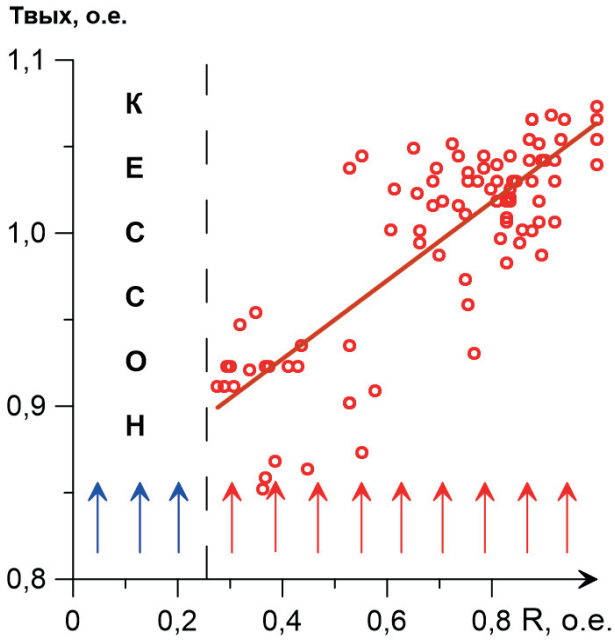


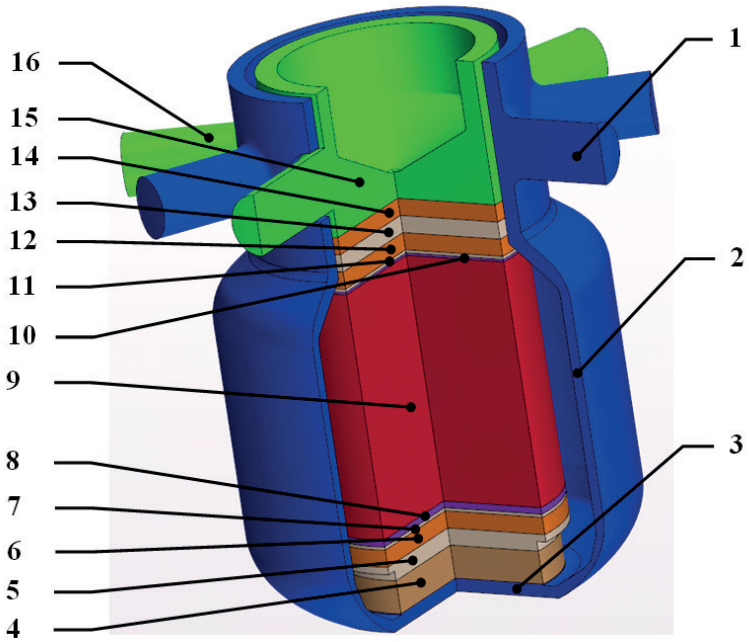
Рисунок 2 – Зависимость показаний термопар от расстояния до центра кессона для 7-ми ТВС центральной зоны

Однако выявление факторов, вносящих основной вклад в неравномерность распределения температуры на выходе ТВС, – теплопередача через стенку кессонов, массообмен через отверстия перфорации, а также особенности гидродинамики в зазоре между стенкой кессонов и ближайшими к ним твэлами – требует пространственного моделирования.

Анализ пространственной гидродинамики СВТ

Анализ пространственных эффектов в а.з. реактора выполнялся для стационарного режима работы установки на уровне мощности N = 30 % $N_{ном}$.

Корректное пространственное моделирование течения СВТ в а.з. требует рассмотрения всего проточного тракта реактора от входных до выходных патрубков. На рисунке 3 показана CAD-модель расчётной области с обозначениями всех структурных элементов. Теплоноситель из входных патрубков *1* последовательно поступает в кольцевую полость *2* (опускной участок), во входной коллектор *3*, в фильтр *4*, в полость под нижней опорной плитой *5*, далее движется через отверстия нижней опорной плиты *6*, через зазор *7*, дистанционирующую решетку *8*, а.з. *9*, дистанционирующую решетку *10*, зазор *11*, отверстия в плите терморешетки *12*, полость *13*; через отверстия в верхней опорной плите *14* поступает в выходной коллектор *15* и далее в выходные патрубки *16*.



1 – входные патрубки; 2 – кольцевая полость; 3 – входной коллектор; 4 – фильтр;
5 – полость под нижней опорной плитой; 6 – нижняя опорная плита; 7 – зазор;
8 – дистанционирующая решетка; 9 – а.з.; 10 – дистанционирующая решетка; 11 – зазор;
12 – плита терморешетки; 13 – полость; 14 – верхняя опорная плита;
15 – выходной коллектор; 16 – выходные патрубки

Рисунок 3 – CAD-модель расчётной области

Расчётный анализ пространственной гидродинамики течения СВТ в реакторе выполнялся с использованием программного комплекса STAR-CCM+ [2]. При разработке конечно-элементной модели для а.з., фильтра, опорных плит, дистанционирующих решеток и плиты терморешетки применялась модель пористого тела, для остальных участков – CFD модель. В сеточной модели использовались многогранные ячейки с заданием призматического слоя вблизи стенок. Суммарное число расчётных ячеек сетки составило приблизительно $6 \cdot 10^6$.

Коэффициенты для модели пористого тела всех участков кроме а.з. определялись с использованием справочных данных для коэффициентов гидравлического сопротивления [3]. Определение указанных коэффициентов для а.з. потребовало проведения предварительных расчётов на CFD модели её фрагмента. Твэлы а.з. в поперечном сечении размещены в узлах правильной треугольной решетки, при этом во взаимно перпендикулярных направлениях они образуют шахматный и псевдокоридорный пучки стержней. Поскольку оболочки твэлов имеют навивку, обеспечивающую их самодистанционирование, в осевом направлении размер фрагмента соответствовал минимально необходимому для моделирования повороту навивки на угол 90°. В качестве граничных условий в продольном направлении задавались скорость на входе и давление на выходе. Для моделирования поперечных перетечек по боковым сторонам задавались циклические условия и перепады давления на противоположных границах.

Результаты расчётов для продольного обтекания показаны на рисунке 4, а для поперечного обтекания – на рисунке 5 в виде зависимостей перепадов давления от скорости.

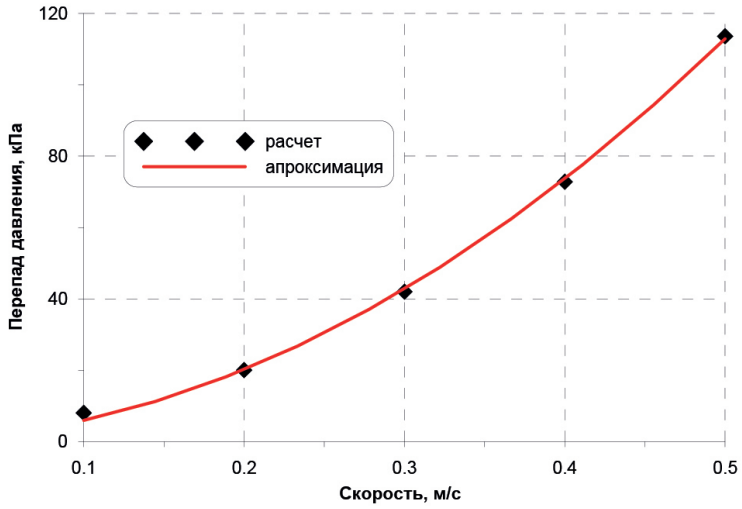


Рисунок 4 – Зависимость перепадов давления от скорости потока теплоносителя при продольном обтекании твэлов

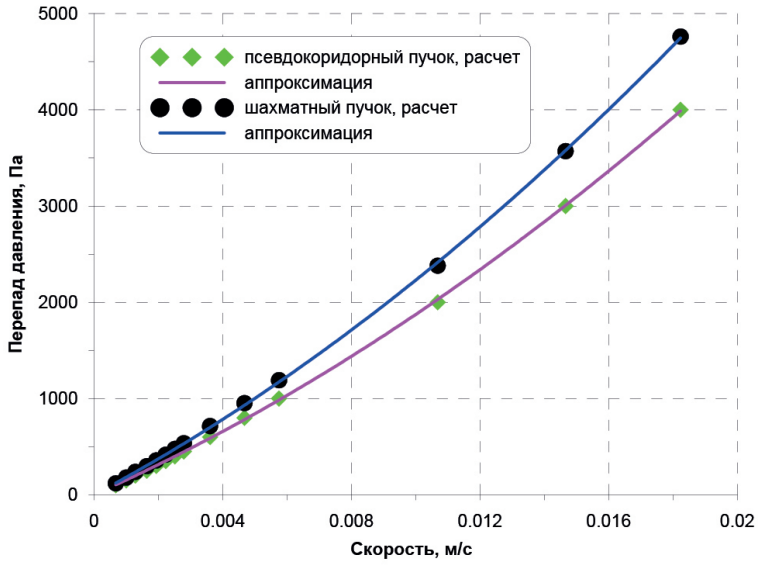
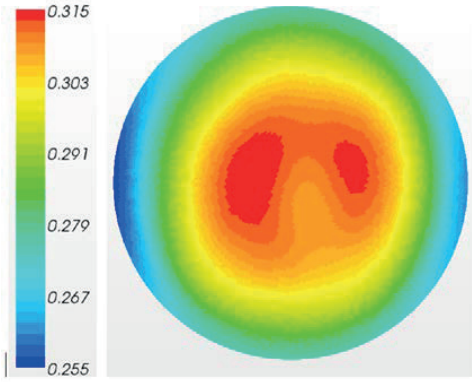


Рисунок 5 – Зависимости перепадов давления от скорости потока теплоносителя при поперечном обтекании твэлов

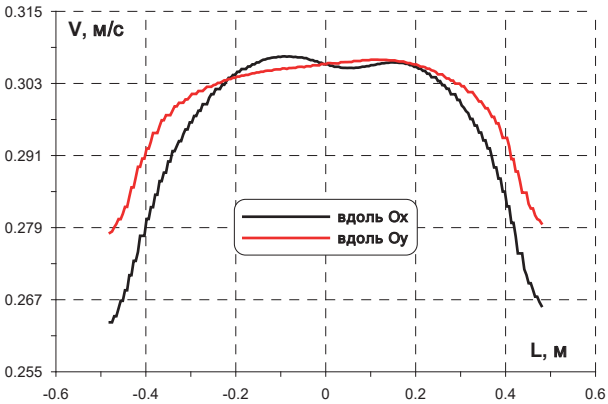
В соответствии с полученными гидравлическими характеристиками были определены коэффициенты в модели пористого тела а.з. по всем трём координатам.

В результате расчёта течения СВТ в реакторе с заданием в качестве граничных условий расходов по петлям было установлено следующее. Азимутальная неравномерность скорости опускного течения СВТ в кольцевой полости *2* (здесь и далее см. рисунок 3), обусловленная дискретностью и азимутальной несимметричностью входных патрубков *1*, при движении через участки тракта от входного коллектора *3* до входа в а.з. *9* в большой степени нивелируется благодаря наличию фильтра, нижних плиты и решетки. По результатам расчёта максимальная

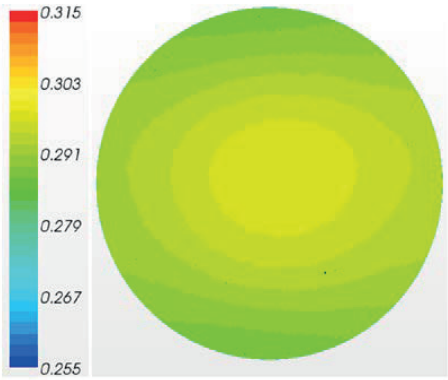
неравномерность скорости СВТ на входе в а.з. составляет около 0,05 м/с. Её радиальное распределение с максимумом в центральной части соответствует радиальному распределению давления во входном коллекторе, что обусловлено его ограниченным осевым размером. В среднем сечении и на выходе распределение скорости практически равномерное, максимальное различие не превышает 0,008 м/с. Сказанное иллюстрируется показанным на рисунке 6 распределением скоростей СВТ в поперечных сечениях а.з.



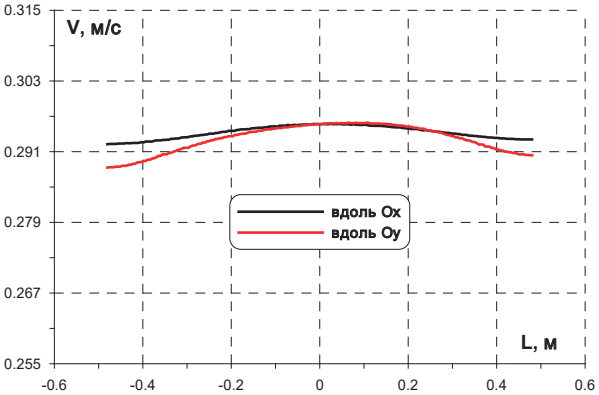
Поле скорости теплоносителя на входе в активную зону



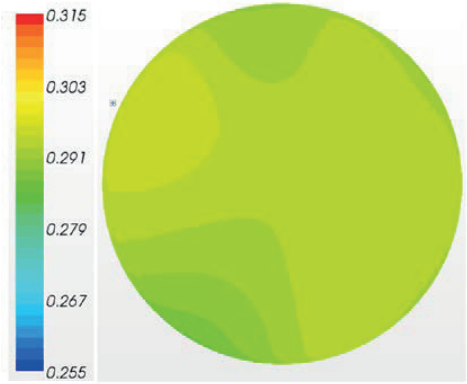
Распределение скорости теплоносителя на входе в активную зону



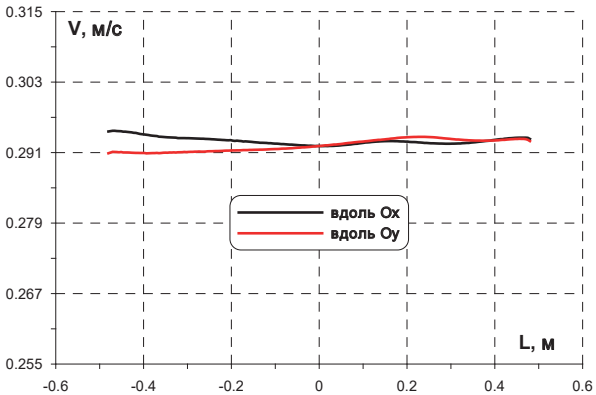
Поле скорости теплоносителя в среднем сечении активной зоны



Распределение скорости теплоносителя в среднем сечении активной зоны



Поле скорости теплоносителя на выходе из активной зоны



Распределение скорости теплоносителя на выходе из активной зоны

Рисунок 6 – Распределение скоростей СВТ в активной зоне

Пространственная модель ТВС

В качестве примера рассмотрена одна из ТВС, расположенных в центральной части а.з. Расчётная модель на основе STAR-CCM+ для анализа пространственного течения в пределах ТВС включала в себя части опорных плит, дистанционирующих решеток и плиты терморешетки, твэльный пучок и кессон со стержнями ОР СУЗ. В качестве граничных условий задавались полученные в пространственном расчёте а.з. расход и температура СВТ на входе ТВС и давление на выходе. Потвэльное распределение энерговыделения задавалось по результатам нейтронно-физического расчёта с использованием комплекса программ САПФИР_РФ&RC [4].

На рисунке 7 схематично показано поперечное сечение ТВС с кессоном, размещенным в её центральной части. В кессоне расположены три стержня ОР СУЗ, а на гранях чехла кессона – сквозные отверстия, сообщающие внутреннее пространство кессона с межтвэльным пространством ТВС. На этом же рисунке показано расположение (в плане) термодатчиков терморешетки с указанием их номеров. Четыре термодатчика №№ 40, 93, 97, 116 расположены на периферии ТВС, а три №№ 94, 95, 96 – вблизи кессона.

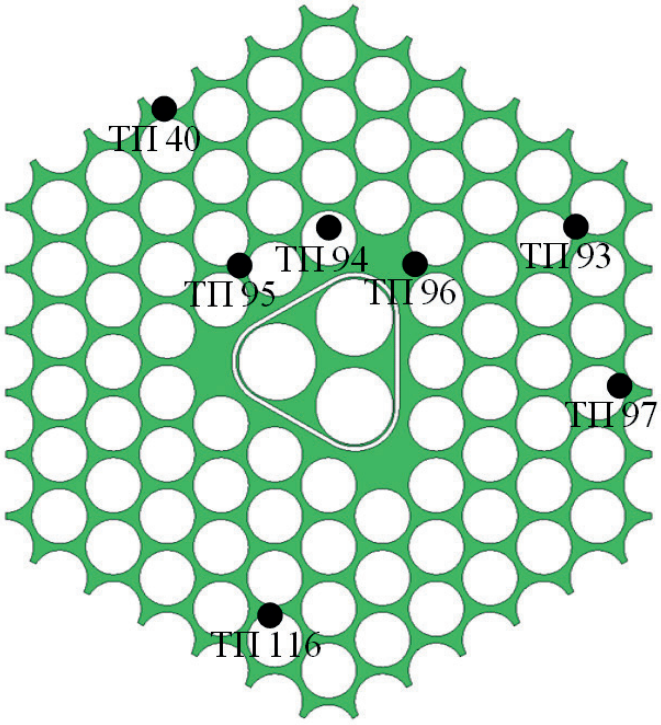


Рисунок 7 – Поперечное сечение CAD-модели ТВС

В серии расчётов было проанализировано влияние следующих факторов: наличие проточного кессона, протечки теплоносителя между плитами опор твэлов (элементов дистанционирующей решетки) соседних ТВС, спиральная навивка на оболочках твэлов, теплопроводность твэлов, энерговыделение в стержнях ОР СУЗ.

В таблице 1 приведены экспериментальные значения температуры ($T_{эксп}$) и результаты серии расчётов ($T_{расч}$).

Таблица 1

Расчётные и экспериментальные значения температуры в точках измерения

№ термопары	$T_{эксп}$, °C	$T_{расч}$, °C				
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
ТР40	392	391	391	392	392	391
ТР93	392	391	392	392	392	393
ТР94	330	312	316	317	319	325
ТР95	339	311	312	313	314	318
ТР96	339	314	315	318	319	324
ТР97	383	390	393	392	393	393
ТР116	396	381	390	385	386	386

В расчёте № 1 не учитывался ни один из перечисленных факторов. СВТ через отверстия в чехле кессона поступал в межтвэльное пространство с температурой, равной её значению на входе ТВС. Можно видеть, что расчётные значения температуры на периферии близки к эксперименту, а вблизи кессона заметно (приблизительно на 24 °C) меньше экспериментальных.

В расчёте № 2 было учтено только наличие щелевых зазоров между плитами опор твэлов, которые, в принципе, увеличивают расход «холодного» СВТ на периферии ТВС. Однако по результатам расчёта этого влияния обнаружено не было, и результаты близки к расчёту № 1.

В расчёте № 3 учитывалась только теплопроводность твэлов. Предполагалось, что высокая теплопроводность топлива может привести к перераспределению тепловых потоков по поверхности твэлов и к некоторому выравниванию выходной температуры СВТ. Для учёта теплопроводности расчётная модель была преобразована: в неё включены твердотельные элементы (твэлы), в которых задавалось внутреннее тепловыделенее. Во всех других расчётах, где моделировалась только проточная часть ТВС, энерговыделение задавалось в виде подводимого к СВТ равномерного по окружности твэла теплового потока. Однако результаты расчёта показали, что указанное влияние невелико.

В расчёте № 4 воспроизводилась реальная геометрия проточной части ТВС, учитывающая наличие спиральной навивки на оболочках твэлов (без учёта других факторов). Так же как и остальные факторы, учёт навивки не оказал большого влияния на распределение выходной температуры ТВС.

Наконец, в расчёте № 5 было проверено только влияние энерговыделения в стержнях ОР СУЗ (~1 % мощности ТВС). Как и следовало ожидать, связанное с этим увеличение температуры СВТ в кессоне привело к повышению температуры в зазоре между чехлом кессона и соседними твэлами и, соответственно, к повышению расчётной температуры вблизи кессона: различие с экспериментом существенно уменьшилось и в среднем составило приблизительно 14 °C.

Таким образом, сопоставлением расчётных и экспериментальных данных было установлено, что значимыми при разработке одномерной модели ТВС являются собственно наличие кессона с протоком СВТ через его боковые грани в межтвэльное пространство и энерговыделение в стержнях ОР СУЗ (наиболее существенный из рассмотренных факторов).

Заключение

1. Показана возможность использования результатов испытаний на стенде КМ-1 в части показаний терморешетки на выходе а.з. для выявления особенностей гидродинамических процессов в реакторе.
2. По результатам расчётного моделирования пространственной гидродинамики установлены основные факторы, определяющие неравномерность поля температуры в выходном сечении а.з. установки стенда КМ-1. Ими являются кессоны с протоком СВТ через их боковые грани в межтвэльное пространство и энерговыделение в стержнях ОР СУЗ.

Литература

1. Современное состояние и перспективы развития реакторов на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем / В.В. Лемехов [и др.] // Инновационные проекты и технологии ядерной энергетики (V МНТК НИКИЭТ – 2018): материалы 5-й междунар. науч.-техн. конф. – Москва, НИКИЭТ, 2–5 октября, 2018.
2. www.plm.automation.siemens.com
3. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975.
4. Иванов А.С. Модернизация нейтронных библиотек и программы САПФИР_95, предназначенной для расчёта ячеек реактора / А.С. Иванов, А.С. Карпов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2018. – Вып. 1. – С. 27–34.

4.4 Задачи экспериментальной отработки технических решений по оборудованию РУ на электрообогреваемом стенде с жидкометаллическим теплоносителем

Ю.А. Мигров, М.Ю. Иорданский, С.Н. Волкова, В.В. Кривобоков, Е.Е. Щербаков

Актуальность сооружения стенда и проведения экспериментов

Эксплуатация энергетических установок с жидкометаллическим теплоносителем (ЖМТ) представляет собой ряд довольно сложных технологических операций, начиная с процедуры расплавления ЖМТ в баке хранения (монжюсе), проведения химико-технологических операций по его очистке, предварительного прогрева оборудования первого контура РУ, загрузки ЖМТ в контур, организации циркуляции теплоносителя, запуска второго контура и осуществления ряда других операций.

Безаварийная и безопасная эксплуатация РУ с ЖМТ в значительной степени определяются соблюдением качества и чистоты теплоносителя и поверхностей её циркуляционного контура.

Это связано с физико-химическими свойствами ЖМТ и их изменениями, которые могут происходить при эксплуатации установок. Важнейшее из них – содержание «активного» кислорода в теплоносителе.

Избыточные поступления кислорода в ЖМТ в случаях разгерметизации контура теплоносителя, находящегося в защитной атмосфере гелия или аргона при эксплуатации РУ, или при ППР, которые могут быть связаны с временным «замораживанием» теплоносителя, приводят к окислению эвтектики Pb-Bi. Это сопровождается образованием шлаковых соединений, в состав которых входят пористые соединения оксида свинца и включенные в них висмут и оксиды металлов конструкционных материалов элементов оборудования. Шлаки, имеющие более высокую температуру плавления по сравнению с ЖМТ, при попадании на щелевые устройства на входе теплоносителя в активную зону приводят к увеличению перепада давления на ней, нарушению проектного теплосъёма, перегреву и разгерметизации твэлов.

Напротив, снижение концентрации кислорода в ЖМТ ниже оптимального может приводить к усилению коррозионного воздействия теплоносителя на конструкционные материалы оборудования контура. Недостаток кислорода в ЖМТ инициирует разрушение защитных оксидных пленок на поверхностях оборудования циркуляционного контура. Их результатом может быть нарушение герметичности между первым и вторым контурами РУ, чреватое поступлением парогазовых смесей в теплоноситель и изменением его качества.

Поэтому одним из основных направлений программы отработки технических решений по РУ с ЖМТ на электрообогреваемом стенде ЭТГС является отработка оптимальной технологии обращения с ЖМТ, обеспечивающей надежную безаварийную эксплуатацию оборудования РУ на всех этапах жизненного цикла.

Необходимо отработать предложенный АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» новый твердофазный метод регулирования термодинамической активности кислорода в ЖМТ путём контроля его концентрации и подпитки растворенным кислородом с помощью массообменного аппарата, обеспечивая функционирование всей системы в автоматическом режиме.

Важнейшими направлениями исследований на стенде являются также:

- испытания диспергаторов, обеспечивающих подачу газовых смесей при газофазном методе регенерации теплоносителя;
- имитация аварийных режимов с течами пароводяных смесей из второго контура в первый;
- экспериментальная отработка средств измерения технологических параметров объектовых установок и определение их работоспособности и ресурса, в том числе, в условиях замораживания-размораживания ЖМТ в контуре;
- изучение теплогидравлических процессов в пучках стержней в условиях неравномерного обогрева.

Учитывая острый дефицит экспериментальных данных по теплогидравлике энергетического оборудования с ЖМТ, результаты экспериментов на стенде, обобщенные в виде оцифрованной базы данных, будут весьма актуальны для валидации расчётных кодов.

Цели и задачи экспериментальных исследований на ЭТГС

В процессе испытаний на стенде ЭТГС планируются следующие исследования.

1. Экспериментальная отработка технологии кондиционирования теплоносителя при воздействии окислительными паро-водородными и восстановительными водородными смесями

При наличии в циркуляционном контуре шлаков (оксидов свинца и висмута) необхо-

димо их удаление, так как они могут блокировать теплопередающие поверхности, нарушать работу насосов и другого оборудования. Очистка теплоносителя от шлаков производится за счёт подачи водородной смеси в поток теплоносителя через диспергатор, обеспечивающий дробление газовых пузырьков. Эффективность процесса определяется по скорости изменения концентрации водорода в буферной емкости.

Для поддержания концентрации растворенного в теплоносителе кислорода в оптимальном диапазоне в теплоноситель с использованием увлажнителя подаются пароводородные смеси. Эффективность процесса контролируется по показаниям датчика термодинамической активности кислорода.

2. Экспериментальная отработка твердофазного метода ввода кислорода в теплоноситель

Твердофазный метод поддержания оптимальной концентрации кислорода в теплоносителе является более технологичным по сравнению с вводом окислительных парогазовых смесей. Он реализуется с помощью массообменных аппаратов на основе оксидов свинца или висмута. Эти аппараты могут иметь различную конструкцию и по-разному интегрироваться в циркуляционный контур. Необходима их отработка в стендовых условиях для определения эксплуатационных параметров, соответствующих наибольшей эффективности массообменных аппаратов на объектовых установках.

3. Освоение технологических операций замораживания/размораживания сплава

В проектах ЯЭУ с ЖМТ нового поколения предусматривается возможность многократной реализации технологического режима замораживания-размораживания сплава в первом контуре. Поэтому отработка этого режима в условиях теплогидравлического стенда представляется весьма актуальной.

Принципиальное значение в этой технологии приобретает «живучесть» вмораживаемых элементов оборудования (прежде всего датчиков), а также восстановление работоспособности проточной части первого контура при размораживании.

4. Исследования химических свойств ЖМТ и его взаимодействия с конструкционными материалами

Исследования взаимодействия ЖМТ с конструкционными материалами

Состояние поверхностей конструкционных материалов, во многом определяющее эксплуатационные характеристики оборудования, зависит от многих факторов. Наряду с физико-химическим взаимодействием с теплоносителем, влияние на состояние поверхностей оказывают теплогидравлический режим работы контура, герметичность установки и другие факторы.

Целью исследований является оценка коррозионной стойкости конструкционных материалов, используемых на РУ с ЖМТ, при воздействии различных факторов.

Для этого в состав контура ЖМТ стенда должен быть введён контейнер (контейнеры) с образцами-свидетелями.

Исследование процессов газопереноса инертных газов

Оптимальной диагностической средой для радиационно-технологического контроля активной зоны РУ с ЖМТ является защитный газ буферной емкости. Целью исследований является изучение процессов формирования активности защитного газа по радионуклидам

инертных радиоактивных газов за счёт их переноса теплоносителем и последующего выхода в буферную ёмкость.

Моделирование процессов газопереноса предлагается осуществлять при подаче стабильных инертных газов в теплоноситель на вход имитатора активной зоны. В качестве инертных газов могут использоваться криптон и ксенон индивидуально или в виде смесей. Контроль за изменением состава защитного газа осуществляется пробоотборным методом. В результате экспериментов должны быть получены константы, связанные с растворимостью, диффузионной способностью и другими термодинамическими параметрами газовых смесей.

Отработка технологии контроля газовых проб

При эксплуатации РУ с ЖМТ необходим тщательный контроль состава защитного газа и оценка состояния теплоносителя при его обработке парогазовыми смесями. В процессе испытаний на стенде требуется отработать методики контроля защитного газа при размещении газоанализаторов непосредственно на пробоотборной линии, с отбором проб и последующим их анализом в лабораторных условиях. Пробоотборная линия должна быть смонтирована на компенсаторе давления (буферной емкости) и должна иметь запорно-регулирующую арматуру.

5. Отработка схем и способов измерения технологических параметров

При измерении технологических параметров в контуре с жидкометаллическим теплоносителем необходимо учитывать особые требования, предъявляемые к датчикам КИП, например, агрессивность среды, большой удельный вес ЖМТ, высокая температура сплава. В большинстве случаев для измерения таких параметров, как давление, расход, уровень жидкометаллического теплоносителя отсутствуют серийные средства измерения. Поэтому требуется разработка специализированных датчиков и их опытная эксплуатация в условиях теплогидравлического стенда.

Важной также является задача отработки штатных средств измерения технологических параметров, используемых в РУ с ЖМТ, и обоснование их ресурса.

6. Изучение теплогидравлических процессов в контуре ЖМТ в стационарных и динамических режимах

Экспериментальные исследования проводятся прежде всего с целью изучения процессов в контуре ЖМТ в переходных и аварийных режимах в виду их острого дефицита для валидации расчётных кодов.

В качестве динамических режимов рассматриваются режимы разогрева контура ЖМТ из холодного состояния в условиях естественной и принудительной циркуляции теплоносителя, переход с одного уровня мощности на другой, режимы с имитацией аварийных ситуаций и др.

Уточнение замыкающих соотношений по гидравлике и теплообмену ЖМТ в стержневой сборке

В экспериментах определяется гидравлическая характеристика стержневой сборки – имитатора а.з., при продольном обтекании пучка стержней ЖМТ. Измеряется перепад давления на сборке в условиях постоянного уровня мощности, подаваемой на рабочий участок, и последовательного увеличения расхода ЖМТ при ступенчатом подъёме производительности насоса.

По результатам данных экспериментов уточняются замыкающие соотношения по трению СВТ в стержневой сборке.

Для уточнения зависимостей по теплообмену в стержневой сборке при её продольном обтекании коэффициенты теплообмена определяются на основе температурных измерений сплава и оболочки нагревательного элемента в одном из сечений. Эксперименты проводятся при различных значениях расхода теплоносителя в контуре и уровнях мощности имитатора а.з.

Изучение процессов перемешивания ЖМТ в пучке стержней с равномерным и неравномерным полем энерговыделения

Экспериментальные исследования проводятся с целью изучения процессов перемешивания ЖМТ при продольном обтекании стержневой сборки при равномерном и неравномерном поле энерговыделения в имитаторе активной зоны, а также при закрутке потока.

Исследуется температурное поле в выходном сечении стержневой сборки при различном расходе в контуре стенда.

Полученные экспериментальные данные будут использоваться для валидации 3D-моделей гидродинамики и теплопереноса.

7. Исследования процессов в контуре в режимах с имитацией межконтурных течей

Экспериментальные исследования проводятся с целью изучения процессов в первом и втором контурах ППУ при возникновении аварийной ситуации с разгерметизацией теплообменных трубок в секциях парогенератора и поступлением пароводяной смеси в контур сплава. Данная ситуация моделируется на стенде с помощью специальной линии впрыска в контур сплава воды или пароводяной смеси из внешнего источника.

В качестве экспериментальных режимов, проводимых с целью исследования процессов вскипания воды при её попадании в контур сплава, динамики давления в контуре сплава, транспорта по контуру паровых пузырей и их эвакуации через буферную емкость в аварийный конденсатор, можно рассматривать режимы с варьированием времени впрыска воды, диаметра насадок, режимных параметров.

Данные режимы являются потенциально опасными вследствие повышения давления. Поэтому в процессе их проведения необходимо тщательно подбирать длительность и амплитуду импульса парогазовой смеси, подаваемой в ЖМТ.

Результаты испытаний, проводимых на электрообогреваемом стенде, будут использоваться при разработке рекомендаций по порядку и условиям эксплуатации РУ с ЖМТ, а также для валидации расчётных теплогидравлических кодов.

В отличие от водо-водяных реакторов, для которых за десятилетия создана солидная валидационная база, для реакторов с тяжёлым жидкометаллическим теплоносителем (ТЖМТ) имеется лишь небольшое количество экспериментальных установок (например, TALL (Швеция), NACIE (Италия), LIFUS5 (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, формируемая в цифровом формате, удобном для валидации расчётных кодов.

4.5 Разработка усовершенствованной программы расчёта свойств воды и водяного пара на основе формуляции IAPWS'95

А.О. Попов, А.В. Мицкевич, И.Г. Данилов, С.Г. Семакин, Ю.В. Юдов

Программа расчёта свойств воды и водяного пара, входящая в состав расчётного кода КОРСАР, реализована на основе формуляции IFC-67 [1], разработанной и принятой в 1967 году международной организацией, впоследствии сформировавшей Международную Ассоциацию по Свойствам Воды и Водяного Пара (IAPWS). Данная формуляция в связи с необходимостью обновления была в 1997 году заменена формуляцией для инженерных расчётов IF-97 [2].

Однако, в качестве основы для разработки усовершенствованной программы расчёта свойств воды и водяного пара была выбрана формуляция IAPWS'95 [3], что обосновано её особенностями, более подробно раскрытыми далее.

Текущая редакция формуляции IAPWS'95 была принята IAPWS в 2018 году. Данная формуляция рекомендована для общего и научного использования и обеспечивает наиболее точное представление термодинамических параметров воды и водяного пара в широком диапазоне параметров (на данный момент).

Главной особенностью упомянутой формуляции является большой простор для качественно физичной экстраполяции в области как стабильного, так и метастабильного состояния вещества, в которых имеется малый набор экспериментальных данных (а на некоторых участках данных областей экспериментальные данные отсутствую полностью).

С точки зрения моделирования двухфазных пароводяных потоков (с использованием негомогенных моделей) отдельного внимания заслуживает возможность экстраполяции в метастабильную область, где качественно физичное поведение для перегретой воды и переохлажденного пара обеспечивается за счёт наличия спинодалей. Данная экстраполяция играет существенную роль в процессах объёмного вскипания или конденсации при резких изменениях давления.

Что касается экстраполяции в стабильную область, значительную роль играют экстраполяции в области сверхнизких давлений и отрицательных температур парогазовой смеси. Расчёты в области сверхнизких давлений могут быть необходимы в связи со стремлением парциального давления пара в парогазовой смеси к нулю, в то время как расчёты в области отрицательных температур могут потребоваться в случае резкого опорожнения емкостей с уровнем.

Упомянутая выше возможность возникновения отрицательных температур пара влечет за собой необходимость проведения экстраполяции для переохлажденной воды с целью упрощения моделирования в случае отказа от межфазного перехода (вода/лед).

Для расчёта транспортных свойств (теплопроводности и вязкости) воды и водяного пара IAPWS разработаны отдельные вспомогательные формуляции, которые могут быть использованы как дополнения к данной. [4] [5].

К недостаткам же формуляции IAPWS'95 следует отнести существенные временные затраты на вычисления. Для решения данной проблемы в [6] предлагается использовать так называемый SBTL-метод (Spline-Based Table Look-Up Method), заключающийся в применении

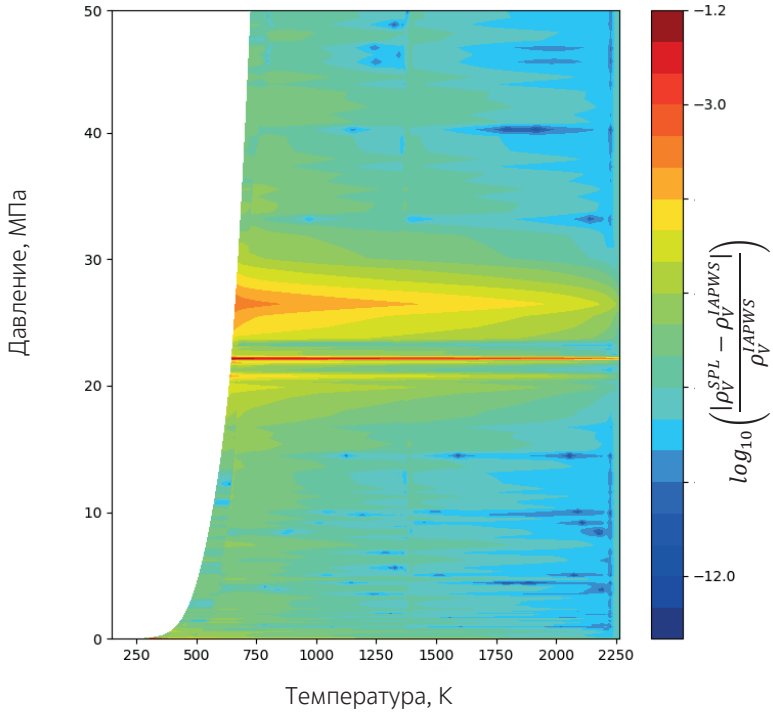
сплайновой интерполяции с дополнительной трансформацией из заданной области с криволинейными границами в прямоугольную.

В ходе разработки программы на языке программирования C++ для расчёта сплайновых свойств воды и водяного пара на основе IAPWS'95 были реализованы следующие библиотеки:

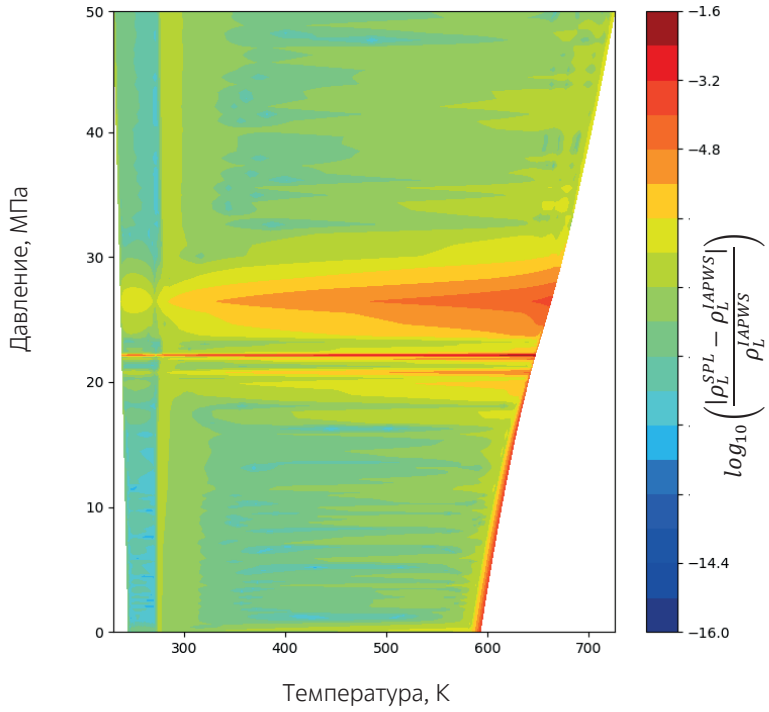
- Библиотека термодинамических свойств, основанная на вычислении производных рядов энергии Гельмгольца, и транспортных свойств. Реализована возможность расчёта свойств как в T-P, так и в H-P координатах.
- Библиотека для построения сплайнов на прямоугольной сетке: линейных, квадратичных и кубических одномерных сплайнов, а также билинейных, биквадратных, бикубических двумерных сплайнов.
- Библиотека сплайновой интерполяции по методике SBTL на основе библиотеки для построения сплайнов.
- Библиотека сериализации-десериализации стандартных и пользовательских типов данных (записи и чтения данных в файл).

Пример результата работы программы приведен на рисунке 1, где продемонстрированы отклонения значений плотностей пара и воды, полученных путём сплайновой интерполяции, от полученных на основании формуляции IAPWS'95 значений.

В среднем отклонение не превышает неопределенностей расчётов, приведенных в формуляции. Однако есть зоны, в которых отклонения имеют тот же порядок, но превышают по значению величины данных неопределенностей, а также «небольшие» зоны (вблизи критической точки), в которых значение отклонений существенно превышает приведенные в формуляции значения неопределенностей, но при этом стоит отметить, что в процентном выражении данное значение не превышает 7 % для пара и 3 % для воды. Данный недостаток возникает вследствие сглаживания функции сплайном.



а)



б)

Рисунок 1 – Отклонение значений плотностей пара (а) и воды (б), полученных программно путём сплайновой интерполяции, относительно значений, полученных на основании формуляции IAPWS'95

Литература

1. International Formulation Committee of the 6th International Conference on the Properties of Steam, The 1967 IFC Formulation for Industrial Use, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 1967.
2. IAPWS, Revised Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam (2012).
3. IAPWS, Revised Release on the IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use (2018).
4. IAPWS, Release on the IAPWS Formulation 2008 for the Viscosity of Ordinary Water Substance (2008).
5. IAPWS, Release on the IAPWS Formulation 2011 for the Thermal Conductivity of Ordinary Water Substance (2011).
6. IAPWS, Guideline on the Fast Calculation of Steam and Water Properties with the Spline-Based Table Look-Up Method (SBTL) (2015).

5

5. ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И РАДИОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

И.В. Мирошниченко

В рамках химико-технологических исследований и испытаний стендовых ЯЭУ в 2021 году обеспечивались работы по выгрузке и дефектации ОТВС стенда КВ-1, выводу из эксплуатации стенда КВ-2. Проводился регламентный отбор проб, химический, газовый и радиохимический контроль технологических сред, выполнялись работы по созданию специальных систем для химического контроля и поддержания качества теплоносителей перспективных ЯЭУ.

В течение 2021 года выполнялся оперативный химико-технологический контроль показателей качества водно-химических режимов основных и вспомогательных контуров и систем стенда КВ-1.

Водно-химический режим технологических сред основных и вспомогательных контуров стенда КВ-1 соответствовал предъявляемым требованиям, за исключением воды первого контура, в которой во второй половине 2021 года наблюдалось появление повышенных концентраций хлорид-ионов (0,4–0,6 мг/кг) и ионов железа (0,4–0,8 мг/кг). Это обстоятельство было вызвано внесением дополнительного загрязнения в реакторную воду при выполнении работ по выгрузке ОТВС. Для снижения уровня загрязнений разработаны и реализованы мероприятия по восстановлению системы очистки воды первого контура. Качество воды третьего контура соответствовало требованиям норм качества, содержание основных продуктов коррозии находилось на уровне нижних пределов обнаружения соответствующих аналитических методик определения химических элементов. Концентрация водорода в газе расширительных баков третьего контура не превышала за весь период наблюдений в 2021 году 3 % об., что полностью отвечало условиям пожаро-взрывобезопасности.

В рамках радиохимических исследований, завершённых в 2021 году на стенде КВ-1, выполнен анализ и обобщены результаты дефектации ОТВС, установлен радионуклидный и элементный состав эксплуатационных отложений на элементах ОТВС стенда КВ-1, выпущены соответствующие научно-технические отчёты. Разработаны Программа-методика материаловедческих исследований трубопроводов системы компенсации давления и Программа и методика материаловедческие исследования образцов, вырезанных из трубных систем парогенераторов.

В рамках корректировки материалов технического проекта ЯЭУ стенда КМ-1 и создания специальных систем по технологии жидкометаллического теплоносителя сотрудниками ОХТИ в 2021 году были завершены следующие разработки:

- изготовлены элементы загрузки дожигателя водорода и проведены его испытания в комплекте со штатным нагревателем, разработано «Руководство по эксплуатации дожигателя водорода ЯЭУ стенда ЯЭУ КМ-1»;
- проведены лабораторные испытания увлажнителя защитного газа ЯЭУ стенда КМ-1, разработаны карты рабочих режимов, проведена оценка погрешности получаемой влажности при заданных параметрах работы увлажнителя (температура, расход, давление);
- выполнены разработка, комплектация и сборка схемы для моделирования процессов растворения инертных газов в теплоносителе первого контура ЯЭУ. В соответствии с разработанными требованиями в схеме предусмотрено применение двух автоклавов: автоклав «1» обеспечивает плавление металла, барботаж инертного газа через расплав, быстрое отверждение металла и его извлечение; автоклав «2» предназначен для повторного плавления металла, десорбции исследуемого растворенного газа в экстракционных газах для последующего газохроматографического анализа. Проверена работоспособность схемы моделирования на предварительном определении растворимости гелия в свинце. В дальнейшем собранную схему автоклавного моделирования предполагается использовать для исследования растворимости ксенона и криптона в расплавах свинца и висмута;
- разработана технология предпусковой промывки систем основных технологических контуров стенда КМ-1;
- для организации оперативной оценки состояния активной зоны посредством контроля радиоактивных благородных газов (РБГ) в газе-носителе первого контура ЯЭУ стенда КМ-1 изготовлен и испытан радиометр-спектрометр МГГ-010 на основе СТУ-010;
- разработана и аттестована методика определения примесных компонентов в жидкометаллическом в теплоносителе на основе сплава свинец-висмут ЯЭУ стенда КМ-1 методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой;

Наряду с работами по регламентному обеспечению деятельности института выполнен большой объём работ по выпуску гражданской продукции, в том числе в интересах концерна «Росэнергоатом». Одним из основных результатов стало изготовление и поставка радиометров-спектрометров для контроля объёмной активности инертных газов МГГ-010 для Кольской, Ленинградской, Билибинской и Белоярской АЭС. Указанное оборудование было востребовано Заказчиком в рамках выполнения отраслевой программы по обеспечению новых нормативов на выбросы отечественными атомными станциями радиоактивных веществ в атмосферу. Поэтапная поставка на АЭС радиометров-спектрометров осуществлялась в соответствии с планом Госкорпорации «Росатом», согласованным с Ростехнадзором и ФМБА России.

Разработанный в НИТИ радиометр-спектрометр МГГ-010 изготавливается в кооперации с ЗАО НПЦ «АСПЕКТ» им. Ю.К. Недачина (г. Дубна) и относится к изделиям класса безопасности 3Н по ОПБ-88/97 (ПН АЭ Г-01-011-97) и соответствует требованиям НП-071-06. Данный прибор предназначен для обеспечения автоматизированного непрерывного измерения объёмной активности радионуклидов (Ar-41, Kr-88, Xe-133, Xe-135 и др.) в воздухе

технологических помещений, в вытяжных системах вентиляции и в выбросах через вентиляционную трубу. Радиометр-спектрометр может работать как в составе автоматизированных систем радиационного контроля (АСРК), так и в автономном режиме на АЭС и других объектах атомной энергетики (ОИАЭ).

Наряду с контрактом на поставку оборудования для радиационного контроля АЭС в 2021 году также выполнялись следующие работы:

- проведены испытания по оценке дезактивируемости полимерных органосиликатных и эпоксидных лакокрасочных покрытий, используемых в атомной промышленности. На испытания свою продукцию представлял широкий круг предприятий, таких как «Йотун Пэйнтс», «Транслак», «ХимКор», «Глобал АКЗ», «Пигмент», «Профессиональные покрытия», «ВМП-НЕВА», «Экопол», «СПЕЦЭМАЛЬ»;
- по заявке Санкт-Петербургского отделения ФГБУН «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева» выполнены исследования техногенных радионуклидов в донных отложениях Копорской губы Финского залива, сбросных и заборных каналов ЛАЭС-1 и ЛАЭС-2, рек Воронка, Систа, Коваш;
- оказывались услуги по авторскому сопровождению эксплуатации оборудования из состава автоматизированной системы радиационного контроля энергоблоков (АСРК) № 3 и № 4 Белоярской АЭС;
- по договору с концерном «Росэнергоатом» проводились работы по экспериментальному обоснованию необходимости и оценке эффективности промывки и гидроперегрузки пористого титанового сорбента из высокотемпературного механического фильтра (ВТМФ) СВО-1, дезактивации ВТМФ для первого и второго энергоблоков Ростовской АЭС;
- выполнен шеф-монтаж, пусконаладка и ввод в эксплуатацию стендов АСППР в составе измерительных систем автоматизированного химического контроля (АХК) ВХР первого и второго контуров для первой и второй очереди ЛАЭС-2.
- по заказу ФГУП «Атомфлот» совместно с НИЦ «Курчатовский институт» проводилась разработка методик для химических и радиохимических анализов рабочих сред при поддержании ВХР технологических контуров РУ судов с ЯЭУ новых типов (РИТМ-200, РИТМ-400) и хранилищ ОЯТ судов атомного технологического обслуживания;
- выполнены исследования кубовых остатков жидких радиоактивных отходов (ЖРО) Ленинградского отделения филиала «Северо-западный территориальный округ» ФГУП «ФЭО». Проведен развернутый количественный анализ остатков ЖРО по химическим показателям (хлорид-, нитрат-, нитрит-, карбонат-, фосфат-, цитрат-, тетраборат-, оксалат-, сульфат- и фторид-ионы, натрий, железо, алюминий, кальций, Трилон Б, нефтепродукты, взвешенные вещества);
- выполнен радиохимический анализ остатков ЖРО. Особое внимание обращалось на радионуклидный состав ЖРО (удельную активность бета-, альфа- и гамма-излучающих радионуклидов). Пробы отбирались из емкостей хранения кубовых остатков ЖРО;
- выполнена переработка более 200 м^3 жидких ЖРО, формируемых на стендах-прототипах института, с использованием опытного образца модульной мембранно-сорбционной установки;
- в рамках деятельности аккредитованных лабораторий радиоэкологического контроля (РЭК) и инструментального контроля производственных и экологических факторов (ЛИКПЭФ) обеспечено проведение мониторинга качества газо-

аэрозольных выбросов, сбросных и сточных вод с промплощадки предприятия, а также контроль производственных факторов на рабочих местах института, регламентный контроль и оценка воздействия стендовых установок НИТИ на окружающую среду и население региона.

Подробнее представленные выше результаты деятельности института по химико-технологическим и радиохимическим исследованиям и разработкам представлены ниже в статьях.

5.1 Радиоэкологический мониторинг воздушной среды на промплощадке ФГУП«НИТИ им. А.П. Александрова»

Панкина Е.Б., Глухова М.П.

При эксплуатации радиационно-опасного объекта одним из наиболее важных этапов мониторинга радиационной обстановки является контроль газо-аэрозольных выбросов и атмосферного воздуха из-за возможного распространения радионуклидов в воздушной среде на значительные расстояния.

В ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» проводится регулярный мониторинг воздушной среды на основании действующих регламентных документов [1, 2]. В 2021 году радионуклидный состав выбросов НИТИ формировался работой оборудования стендов-протатипов зд. 104 и 160.

Объём газо-воздушного выброса через вентиляционную стометровую трубу зд. 104 составил 658 млн. м^3 – 23,1 % от проектного расхода вентсистем. Основным источником образования радиоактивных газовых выбросов являлся универсальный стенд дефектации (УСД), на котором проводились работы по внереакторной дефектации и гамма-сканированию ОТВС ЯЭУ стенда КВ-1. Активность инертных радиоактивных газов (ИРГ), поступавших с УСД в атмосферу, определялась исключительно Kr-85. Оцененное значение активности выброса Kr-85 за 2021 год составило не более $1{,}20 \cdot 10^8$ Бк. Аэрозольная активность выброса $6{,}35 \cdot 10^5$ Бк сформирована радионуклидами ^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{60}Co и ^{54}Mn, из которых 69 % приходится на ^{137}Cs.

Объём газо-воздушного выброса ЯЭУ зд. 160 в 2021 году составил 1790 млн. м^3 – 53 % от проектного расхода. Выбросы радиоактивных веществ в атмосферу из этого источника осуществляются через совокупность труб высотой 72 м каждая. В течение 2021 года показания блоков и устройств детектирования, осуществляющих автоматизированный контроль содержания радиоактивных веществ в выбросах здания 160, в том числе ИРГ и изотопов йода, не превышали нижних пределов измерения (НПИ). Поэтому активность ИРГ рассчитана произведением объёма выброса на НПИ соответствующего блока детектирования БДГБ-21С3. Годовой выброс ИРГ из здания 160 в 2021 году составил не более $3{,}58 \cdot 10^{13}$ Бк. Аэрозольная активность выброса $3{,}62 \cdot 10^4$ Бк сформирована радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr, из которых 63 % приходится на ^{137}Cs.

Основной вклад в активность общего годового выброса НИТИ приходится на ИРГ (таблица 1). Активность аэрозолей в выбросах составила не более $6{,}7 \cdot 10^5$ Бк и не повлияла на суммарную активность годового выброса – $3{,}58 \cdot 10^{13}$ Бк.

Таблица 1

Состав и активность газо-аэрозольных выбросов НИТИ в 2021 году

№	Наименование основных загрязняющих веществ	Разрешенный допустимый выброс (ДВ), Бк	Фактический выброс	
			Бк	% от (ДВ)
1	Сумма ИРГ, включая:	$1{,}48 \cdot 10^{16}$	$3{,}58 \cdot 10^{13}$	0,24
	^{41}Ar	$1{,}60 \cdot 10^{15}$	$1{,}62 \cdot 10^{12}$	0,10
	^{85}Kr	$1{,}20 \cdot 10^{8}$	$1{,}52 \cdot 10^{13}$	$7{,}9 \cdot 10^{-4}$
	^{85m}Kr	$3{,}56 \cdot 10^{14}$	$2{,}38 \cdot 10^{12}$	0,67
	^{87}Kr	$3{,}56 \cdot 10^{14}$	$1{,}11 \cdot 10^{13}$	3,12
	^{88}Kr	$1{,}20 \cdot 10^{15}$	$1{,}88 \cdot 10^{13}$	1,57
	^{135}Xe	$3{,}19 \cdot 10^{15}$	$1{,}96 \cdot 10^{12}$	0,06
2	^{137}Cs	$2{,}84 \cdot 10^{10}$	$4{,}56 \cdot 10^{5}$	$1{,}6 \cdot 10^{-3}$
3	^{90}Sr	$1{,}14 \cdot 10^{10}$	$1{,}32 \cdot 10^{5}$	$1{,}2 \cdot 10^{-3}$
4	^{60}Co	$5{,}10 \cdot 10^{9}$	$6{,}86 \cdot 10^{4}$	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$
5	^{54}Mn	$1{,}35 \cdot 10^{9}$	$8{,}89 \cdot 10^{3}$	$7{,}0 \cdot 10^{-4}$

В составе автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) НИТИ работают четыре поста радиационного контроля воздушной среды (посты 2, 3, 6 и 8) с накоплением аэрозолей атмосферного воздуха на фильтрах в автоматическом режиме. Непрерывные отборы проб аэрозолей осуществлялись на фильтры ФПП-15-1,5 общей площадью 0,63 м^2. Фильтры экспонировались на каждом посту АСКРО в течение месяца.

В автоматическом режиме на постах проводится контроль объёма воздуха, поступающего через аэрозольный фильтр. Эта информация необходима для расчёта объёмной активности радионуклидов, осевших в аэрозольной фракции приземного атмосферного воздуха, и оценки радиоэкологической безопасности воздушной среды, регулируемой значениями $ДОА_{нас}$ по НРБ-99/2009. В 2021 году по данным АСКРО объёмы прокачанного через фильтры атмосферного воздуха составляли от 433 тыс. м^3 в месяц (февраль, пост 6) до 590 тыс. м^3 в месяц (июль, пост 2).

С целью определения активности летучих радионуклидов (изотопы йода) и других коротко- и долгоживущих радионуклидов фильтры прессовались до вида таблетки (геометрии измерения). После гамма-спектрометрических измерений таблетки пробоподготовка аэрозолей проводилась методом их озоления. Радиохимический анализ ^{90}Sr выполнялся из зольных остатков.

В приземном слое воздуха на территории НИТИ каждый месяц присутствовал ^{137}Cs, с высокой частотой обнаружения присутствовали радионуклиды коррозионного происхождения: ^{60}Co и ^{54}Mn (рисунок 1).

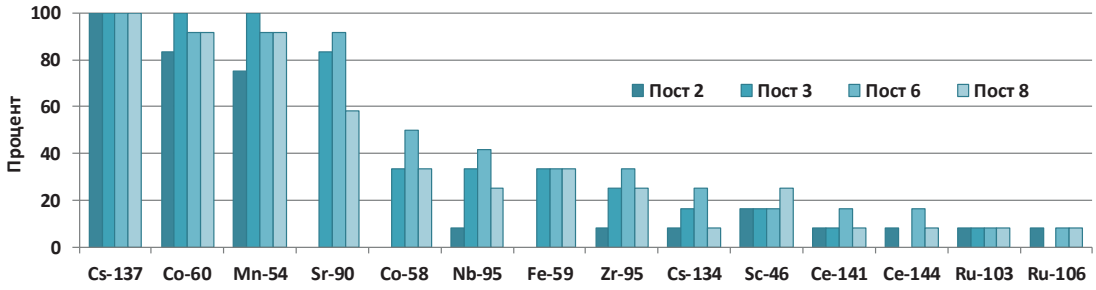


Рисунок 1. Частота регистрации радионуклидов в аэрозолях атмосферного воздуха на постах АСКРО НИТИ в 2021 году, %

Более детальные данные по минимальным, средним, максимальным значениям активности и частоте обнаружения радионуклидов за 12 месяцев приведены для двух постов – 2 и 6 (табл. 2, 3). Пост 2 рассматривается в качестве «фонового» поста контроля, так как расположен с наветренной стороны технологических зданий НИТИ и промзоны г. Сосновый Бор. Пост 6 является важным пунктом мониторинга воздушной среды из-за возможности регистрации на его территории максимального радиоактивного загрязнения воздуха за счёт расширенной зоны воздействия как собственно источников внутри нашего предприятия, так и источников от других радиационно-опасных объектов, находящихся на смежных с НИТИ площадках: ЛО СЗТО ФГУП «ФЭО», КПО ЛАЭС и ЗАО «Экомет-С».

Таблица 2

Результаты измерений объёмной активности радионуклидов аэрозолей атмосферного воздуха за 2021 год. Пост 2 АСКРО НИТИ

Нуклид	Частота регистрации, % *	Объёмная активность радионуклидов, мкБк/м^3			Максимум относительно ДОА$_{нас}$, %
		Минимум	Среднее**	Максимум	
^{137}Cs	100,0	1,0 ± 0,3	2,3 ± 0,5	5,6 ± 0,8 (сентябрь)	$2{,}1\cdot10^{-5}$
^{60}Co	83,3	0,88 ± 0,32	4,5 ± 0,8	15 ± 2 (март)	$1{,}3\cdot10^{-4}$
^{54}Mn	75,0	0,75 ± 0,41	1,3 ± 0,4	2,2 ± 0,5 (декабрь)	$3{,}1\cdot10^{-6}$
^{46}Sc	16,7	2,7 ± 0,7	3,4 ± 0,8	4,0 ± 0,8 (март)	$2{,}5\cdot10^{-5}$
^{95}Zr	8,3	–	–	1,8 ± 0,9 (июль)	$7{,}8\cdot10^{-6}$
^{95}Nb	8,3			7,4 ± 1,3 (июль)	$1{,}0\cdot10^{-5}$
^{103}Ru	8,3	–	–	1,7 ± 0,4 (июль)	$3{,}7\cdot10^{-6}$
^{106}Ru	8,3	–	–	8,0 ± 2,5 (июль)	$1{,}8\cdot10^{-4}$
^{134}Cs	8,3			3,8 ± 0,7 (июль)	$2{,}0\cdot10^{-5}$
^{141}Ce	8,3	–	–	4,0 ± 1,4 (июль)	$1{,}2\cdot10^{-5}$
^{144}Ce	8,3	–	–	5,1 ± 2,6 (июль)	$1{,}5\cdot10^{-4}$

Примечание: Для таблиц 2 и 3: * – доля количества достоверных значений активности радионуклида (превышающего НПИ) от общего количества измерений (12 шт.); ** – рассчитано только для значений, превышающий НПИ.

Таблица 3

Результаты измерений объёмной активности радионуклидов аэрозолей атмосферного воздуха за 2021 год (Пост 6 АСКРО НИТИ)

Нуклид	Частота регистрации, %	Объёмная активность радионуклидов, мкБк/м^3			Максимум относительно ДОА$_{нас}$, %
		Минимум	Среднее	Максимум	
^{137}Cs	100,0	1,6 ± 0,4	14 ± 2	74 ± 8 (июль)	$2{,}7\cdot10^{-4}$
^{60}Co	91,7	2,3 ± 0,6	53 ± 6	374 ± 41 (март)	$3{,}4\cdot10^{-3}$
^{54}Mn	91,7	1,3 ± 0,4	17 ± 2	69 ± 8 (июль)	$9{,}6\cdot10^{-5}$
^{90}Sr	91,7	0,52 ± 0,2	1,9 ± 0,7	9,9 ± 3,8 (июль)	$3{,}7\cdot10^{-4}$
^{58}Co	50,0	0,61 ± 0,28	10 ± 2	30 ± 4 (июль)	$4{,}4\cdot10^{-5}$
^{95}Nb	41,7	2,4 ± 0,7	34 ± 4	123 ± 14 (июль)	$1{,}7\cdot10^{-4}$
^{59}Fe	33,3	3,4 ± 1,2	56 ± 7	123 ± 15 (март)	$4{,}1\cdot10^{-4}$
^{95}Zr	33,3	1,5 ± 0,8	15 ± 5	44 ± 6 (июль)	$1{,}9\cdot10^{-4}$
^{134}Cs	25,0	0,90 ± 0,30	21 ± 4	58 ± 8 (июль)	$3{,}1\cdot10^{-4}$
^{46}Sc	16,7	40 ± 5	160 ± 20	280 ± 30 (март)	$1{,}8\cdot10^{-3}$
^{141}Ce	16,7	7,5 ± 1,5	15 ± 2	23 ± 3 (июль)	$7{,}0\cdot10^{-5}$
^{144}Ce	16,7	16 ± 4	23 ± 4	30,8±4,9 (июнь)	$9{,}3\cdot10^{-4}$
^{103}Ru	8,3	–	–	15 ± 2 (июль)	$3{,}3\cdot10^{-5}$
^{106}Ru	8,3	–	–	22 ± 5 (июнь)	$5{,}0\cdot10^{-4}$

Максимальные уровни активности радионуклидов регистрировались в течение года на посту 6, который находится на границе с предприятиями атомного комплекса г. Сосновый Бор, выполняющими сбор, переработку и хранение радиоактивных отходов. Максимальная объёмная активность радионуклидов в аэрозолях атмосферного воздуха зарегистрирована на его территории по ^{60}Co в марте 2021 года и составляла 374 мкБк/м^3. По данным ежемесячного гамма-спектрометрического анализа фильтров-таблеток изотопы йода в аэрозолях атмосферного воздуха на территории НИТИ не обнаружены (ниже НПИ: 1,0 – 3,6 мкБк/м^3). Это свидетельствует о высокой эффективности фильтров очистки газо-аэрозольных выбросов, используемых на предприятии.

В целом в 2021 году максимальные уровни объёмной активности радионуклидов, наблюдаемые в аэрозолях атмосферного воздуха на всех постах промышленной площадки НИТИ, были радиоэкологически безопасными (на 4–7 порядков ниже ДОА$_{нас}$ по НРБ-99/2009). Самым критичными радионуклидами являлись ^{60}Co и ^{46}Sc, отношение активности которых к ДОА$_{нас}$ по НРБ-99/2009 составило 0,0034 % и 0,0018 % соответственно.

Оценка влияния деятельности НИТИ на радиационную обстановку в санитарнозащитной зоне (СЗЗ) и зоне наблюдения (ЗН) предприятия проводится на основании результатов расчёта индивидуальных дозовых нагрузок на население г. Сосновый Бор. Для источников газо-аэрозольных выбросов НИТИ установлена дозовая квота – 0,16 мЗв/год (письмо ТО МУ № 122 ФМБА России по г. Сосновый бор Ленинградской области от 20.08.2013).

Расчёт эффективных доз облучения населения, обусловленных газо-аэрозольными выбросами оборудованием стендов-прототипов и ЯЭУ НИТИ, проводился по методическим

рекомендациям [3–6]. При оценке доз учитывались расчётные и фактические метеорологические параметры, поступающие с метеостанции АСКРО НИТИ: фактор метеорологического разбавления, эффективная высота выброса и средняя скорость ветра в 2021 году. Расчёт проведен с учётом реальной скорости ветра 2,82 м/с. Для консервативной оценки доз на население принято направление ветра в сторону г. Сосновый Бор.

Результаты расчёта годовых индивидуальных эффективных доз на население г. Сосновый Бор за счёт газо-аэрозольных выбросов НИТИ приведены в таблице 4.

Таблица 4

Индивидуальные эффективные дозы на население г. Сосновый Бор от газо-аэрозольных выбросов НИТИ в 2021 году

Вид облучения	Радионуклиды	Индивидуальная эффективная доза, Зв/год	Сумма, Зв/год
Внешнее фотонное облучение от облака	ИРГ	$3{,}58 \cdot 10^{-8}$	$3{,}58 \cdot 10^{-8}$
	ДЖН (^{54}Mn, ^{60}Co, ^{137}Cs)	$3{,}66 \cdot 10^{-16}$	
Внешнее фотонное облучение от почвы	ДЖН (^{54}Mn, ^{60}Co, ^{137}Cs)	$1{,}21 \cdot 10^{-12}$	$1{,}21 \cdot 10^{-12}$
Внешнее облучение от бета-излучения облака	ИРГ	$3{,}41 \cdot 10^{-10}$	$3{,}41 \cdot 10^{-10}$
	ДЖН (^{54}Mn, ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{137}Cs)	$2{,}51 \cdot 10^{-18}$	
Внутреннее облучение при ингаляции	ДЖН (^{54}Mn, ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{137}Cs)	$6{,}97 \cdot 10^{-14}$	$6{,}97 \cdot 10^{-14}$
Сумма от выбросов			$3{,}61 \cdot 10^{-8}$

Годовая эффективная доза от газо-аэрозольных выбросов НИТИ для населения в 2021 году практически полностью была связана с поступлением в воздушную среду ИРГ и составила не более 0,03 % от квоты, выделенной НИТИ на выбросы радионуклидов.

Расчёт доз от выбросов дополнительно поддерживается с использованием специализированного программного обеспечения (СПО) «RECASS» (НПО «Тайфун») для случаев ежедневной текущей эксплуатации предприятия. В настоящее время программные средства библиотеки «RECASS» включены в программное обеспечение АСКРО НИТИ и обеспечивают непосредственный расчёт значений заданных радиационных характеристик в режиме реального времени.

СПО «RECASS» проводит оперативный прогноз радиационного состояния атмосферы и подстилающей поверхности от газо-аэрозольных выбросов зд. 160. Исходными данными для расчётов являются метеопараметры, поступающие в автоматическом режиме с метеостанции АСКРО НИТИ, а также характеристики выбросов, включая активность радионуклидов ИРГ, изотопы йода и суммарная бета-активность и объём выбросов, информация по которым передается по каналам измерения АСРК. Интегрированный продукт ежесуточно проводил расчёт и прогноз полей радиоактивного загрязнения приземного атмосферного воздуха, проинтегрированной во времени концентрации в воздухе, поверхностной активности и доз: поглощенной в воздухе, эквивалентной в органе или ткани и эффективной на все тело на расстоянии до 50 км от источника выбросов.

В 2021 году из всего массива расчётов выбраны четыре сценария: от 09 октября, 15 октября, 22 октября и 12 ноября, отличающиеся разными скоростями и направлениями ветра.

Первые два сценария № 1043 от 09.10.2021 и № 1056 от 22.10.2021 характеризуются ветрами направлений в сторону г. Сосновый Бор, но разными скоростями – 2,3 м/с и 6,0 м/с соответственно (рисунок 2).

ID сценария в БД	1043
Название сценария	НИТИ - автоматический расчёт выбросов зд 160
Дата/время начала аварии	09.10.2021 12:00:00
Дата/время записи в БД	09.10.2021 12:00:02
Количество источников	1

Источник(и)

KKS	Название источника	Коорд-ы	Интервал работы	Скорость подъема струи, м/с	Диаметр	Перегрев струи	Мин. высота струи, м	Макс. высота струи, м	Высота трубы, м	Кол-во нукл-ов в выбросе	Радионуклиды в выбросе
-	НИТИ - источник труба 160	59.82458, 29.03609	12ч.00м.01с.	8,4	1,7	50	150	179	70	12	Ce-141, Cs-137, I-131, I-133, I-135, Kr-87, Kr-88, Ru-103, Sr-89, Xe-133, Xe-135, Zr-95

Метеоусловия

Тип метеоданных	Наименование метеостанции	Координаты метеостанции	Дата/время измерения	Высота измерения, м	Температура, ГрадС	Направления ветра, градусы	Скорость ветра, м/с	Облачность	Туман	Снежный покров
данные АМС	АМС НИТИ п2	59.82500, 29.02300	-	10	11	200	2,2803	Нет	Нет	Нет

Сценарий № 1043 от 09.10.2021

ID сценария в БД	1056
Название сценария	НИТИ - автоматический расчёт выбросов зд 160
Дата/время начала аварии	22.10.2021 12:00:00
Дата/время записи в БД	22.10.2021 12:00:01
Количество источников	1

Источник(и)

KKS	Название источника	Коорд-ы	Интервал работы	Скорость подъема струи, м/с	Диаметр	Перегрев струи	Мин. высота струи, м	Макс. высота струи, м	Высота трубы, м	Кол-во нукл-ов в выбросе	Радионуклиды в выбросе
-	НИТИ - источник труба 160	59.82458, 29.03609	12ч.00м.01с.	8,4	1,7	50	150	179	70	12	Ce-141, Cs-137, I-131, I-133, I-135, Kr-87, Kr-88, Ru-103, Sr-89, Xe-133, Xe-135, Zr-95

Метеоусловия

Тип метеоданных	Наименование метеостанции	Координаты метеостанции	Дата/время измерения	Высота измерения, м	Температура, ГрадС	Направления ветра, градусы	Скорость ветра, м/с	Облачность	Туман	Снежный покров
данные АМС	АМС НИТИ п2	59.82500, 29.02300	-	10	8	193	5,9862	Нет	Нет	Нет

Сценарий № 1056 от 22.10.2021

Рисунок 2 – Исходные данные по метеопараметрам, источнику и радионуклидному составу выбросов зд. 160 от 09.10.2021 и 22.10.2021

Два других сценария связаны с различным направлением ветра и примерно одинаковыми скоростями ветра. По третьему сценарию № 1049 от 15.10.2021 ветер направлен в сторону Копорской губы Финского залива со скоростью 4,8 м/с. Четвертый сценарий № 1077 от 12.11.2021 соответствует направлению ветра в сторону г. Санкт-Петербург со скоростью 4,7 м/с. Из радионуклидного состава выбросов для демонстрации работы СПО «RECASS» выбран ^{137}Cs, который входит в типовой состав выбросов ЯЭУ и является основным дозообразующим радионуклидом при ингаляционном поступлении в организм человека. Все примеры рассмотрены для выбросов ^{137}Cs из венттруб зд. 160, регистрируемых системой АСРК на уровне нижних пределов регистрации.

По условиям прогнозной модели выброс ^{137}Cs происходит непрерывно каждые сутки в течение 24 часов. По данным АСРК суммарная объёмная активность аэрозолей (ОАА) на выходе из труб зд. 160 составляла:

09.10.2021 – не более 0,116 Бк/м^3, 15.10.2021 – не более 0,116 Бк/м^3,

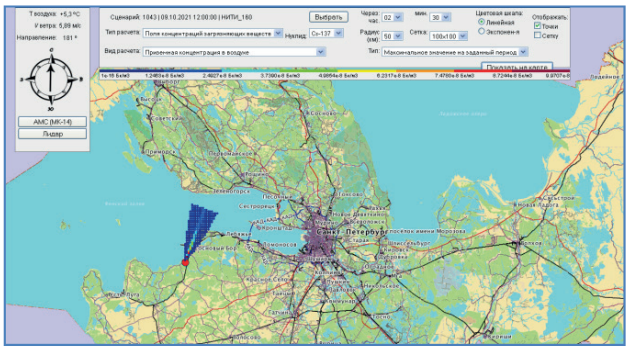
22.10.2021 – не более 0,133 Бк/м^3, 12.11.2021 – не более 0,139 Бк/м^3.

Доля ^{137}Cs в аэрозольном выбросе составляла 1 %. Фактический объём выброса через венттрубы зд. 160 в 2021 году составил 1790 млн. м^3 или 5,03 млн. м^3 за сутки. Следовательно, за 24 часа (период прогноза) активность ^{137}Cs в выбросах зд. 160 составила:

09.10.2021 – не более 5,8 кБк, 15.10.2021 – не более 5,8 кБк,

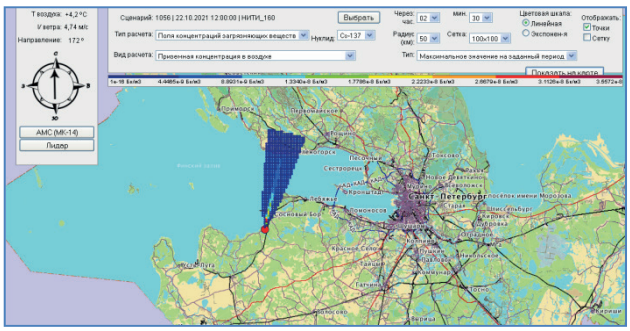
22.10.2021 – не более 6,7 кБк, 12.11.2021 – не более 7,0 кБк.

На рисунке 3 показаны радиоактивные поля загрязнения ^{137}Cs, сформированные через полчаса и через два часа после выбросов из зд. 160.



Сценарий № 1043 от 09.10.2021.

Скорость ветра 2,3 м/с, направление ЮЮЗ – в сторону г. Сосновый Бор



Сценарий № 1056 от 22.10.2021.

Скорость ветра 6,0 м/с, направление ЮЮЗ – в сторону г. Сосновый Бор

Рисунок 3 – Прогнозные расчёты радиоактивных полей ^{137}Cs через 2,5 часа с момента выбросов зд. 160 в сторону г. Сосновый Бор при различной скорости ветра

Данные прогноза по сценарию № 1043 свидетельствуют, что распространение радиоактивного облака при скорости ветра 2,3 м/с через 2,5 часа достигает расстояния 32 км. Максимальная активность находится на расстоянии 3,2 км и составляет безопасную величину $1{,}07 \cdot 10^{-7}$ Бк/м^3 (ДОА$_{нас}$ для ^{137}Cs – 27 Бк/м^3). Длина факела выброса по сценарию № 1056 через то же время составляет более 50 км. В рамках используемого СПО дальность прогноза составляет не более 50 км от источника выброса. Максимальная объёмная активность ^{137}Cs формируется на расстоянии 4,3 км и составляет $3{,}67 \cdot 10^{-8}$ Бк/м^3 (таблица 5).

Таблица 5

Сценарий № 1056. Распределение факела выброса ^{137}Cs на расстоянии до 50 км от зд. 160

Расстояние от источника выброса, км	Объёмная активность ^{137}Cs, Бк/м^3	Расстояние от источника выброса, км	Объёмная активность ^{137}Cs, Бк/м^3
1,0	$5{,}30 \cdot 10^{-12}$	14,9	$8{,}90 \cdot 10^{-9}$
2,7	$2{,}82 \cdot 10^{-8}$	27,0	$5{,}06 \cdot 10^{-9}$
4,3	$3{,}67 \cdot 10^{-8}$	34,0	$4{,}60 \cdot 10^{-9}$
5,4	$3{,}28 \cdot 10^{-8}$	44,0	$3{,}70 \cdot 10^{-9}$
8,2	$1{,}64 \cdot 10^{-8}$	50,0	$3{,}30 \cdot 10^{-9}$
11,5	$1{,}09 \cdot 10^{-8}$		

Сценарии № 1049 от 15.10.2021 и № 1077 от 12.11.2021 представлены на рисунке 4.

ID сценария в БД	1049
Название сценария	НИТИ - автоматический расчёт выбросов зд160
Дата/время начала аварии	15.10.2021 12:00:01
Дата/время записи в БД	15.10.2021 12:00:02
Количество источников	1

Источник(и)

KKS	Название источника	Коорд-ы	Интервал работы	Скорость подъема струи, м/с	Диаметр	Перегрев струи	Мин. высота струи, м	Макс. высота струи, м	Высота трубы, м	Кол-во нукл-ов в выбросе	Радионуклиды в выбросе
-	НИТИ - источник труба 160	59.82458, 29.03609	12ч.00м.02с.	8,4	1,7	50	150	179	70	12	Ce-141, Cs-137, I-131, I-133, I-135, Kr-87, Kr-88, Ru-103, Sr-89, Xe-133, Xe-135, Zr-95

Метеоусловия

Тип метеоданных	Наименование метеостанции	Координаты метеостанции	Дата/время измерения	Высота измерения, м	Температура, ГрадС	Направления ветра, градусы	Скорость ветра, м/с	Облачность	Туман	Снежный покров
данные АМС	АМС НИТИ п2	59.82500, 29.02300	-	10	7	157	4,7211	Нет	Нет	Нет

Сценарий № 1049 от 15.10.2021

ID сценария в БД	1077
Название сценария	НИТИ - автоматический расчёт выбросов зд160
Дата/время начала аварии	12.11.2021 12:00:00
Дата/время записи в БД	12.11.2021 12:00:02
Количество источников	1

Источник(и)

KKS	Название источника	Коорд-ы	Интервал работы	Скорость подъема струи, м/с	Диаметр	Перегрев струи	Мин. высота струи, м	Макс. высота струи, м	Высота трубы, м	Кол-во нукл-ов в выбросе	Радионуклиды в выбросе
-	НИТИ - источник труба 160	59.82458, 29.03609	12ч.00м.01с.	8,4	1,7	50	150	179	70	12	Ce-141, Cs-137, I-131, I-133, I-135, Kr-87, Kr-88, Ru-103, Sr-89, Xe-133, Xe-135, Zr-95

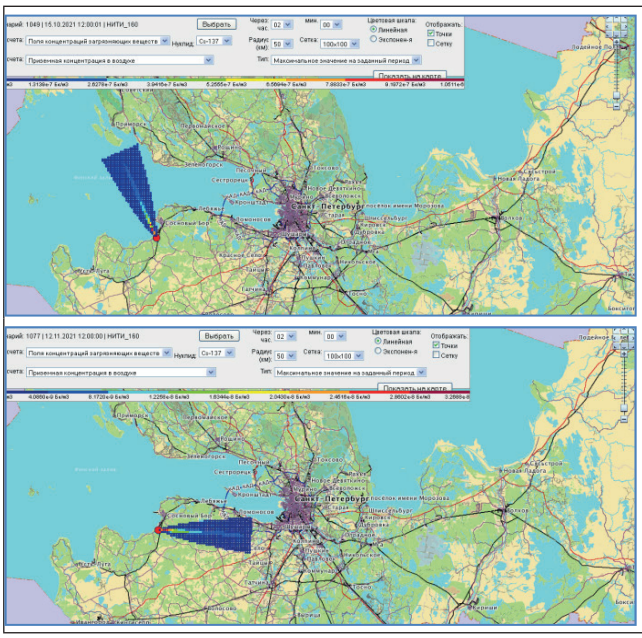
Метеоусловия

Тип метеоданных	Наименование метеостанции	Координаты метеостанции	Дата/время измерения	Высота измерения, м	Температура, ГрадС	Направления ветра, градусы	Скорость ветра, м/с	Облачность	Туман	Снежный покров
данные АМС	АМС НИТИ п2	59.82500, 29.02300	-	10	5	273	4,8308	Нет	Нет	Нет

Сценарий № 1077 от 12.11.2021

Рисунок 4 – Исходные данные по метеопараметрам, источнику и радионуклидному составу выбросов зд. 160 от 15.10.2021 и 12.11.2021

Несмотря на одинаковую скорость ветра 15 октября и 12 ноября, расстояние, на котором формируется максимальная объёмная активность ^{137}Cs по сценариям № 1049 и № 1077, зависит от рельефа местности (рисунок 5). Так, над Финским заливом это расстояние составляет 4,9 км, и «пик» активности достигается на уровне $4{,}0 \cdot 10^{-8}$ Бк/м^3. В условиях неровностей земной поверхности (естественные и технические барьеры) максимум активности располагается ближе к источнику выброса (удален от источника на 3,4 км) и составляет $4{,}4 \cdot 10^{-8}$ Бк/м^3 (рисунок 6).



Сценарий № 1049 от 09.10.2021:

Скорость ветра 4,7 м/с, направление 157 град. (ЮЮВ) – в направлении Финского залива

Сценарий № 1077 от 12.11.2021:

Скорость ветра 4,8 м/с, направление 273 град. (3) – в направлении г. Санкт-Петербург

Рисунок 5 – Прогнозные расчёты радиоактивных полей ^{137}Cs через два часа от текущих выбросов зд. 160 при одинаковой скорости ветра в разных направлениях

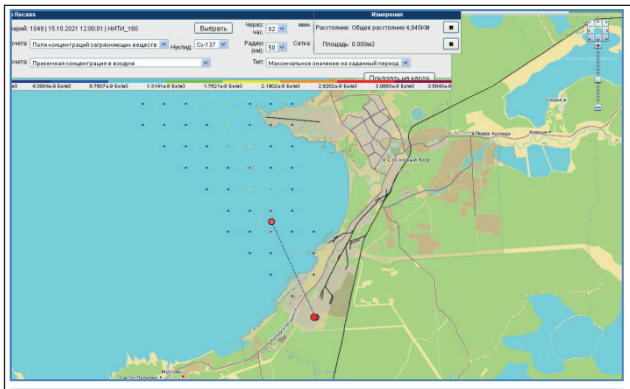
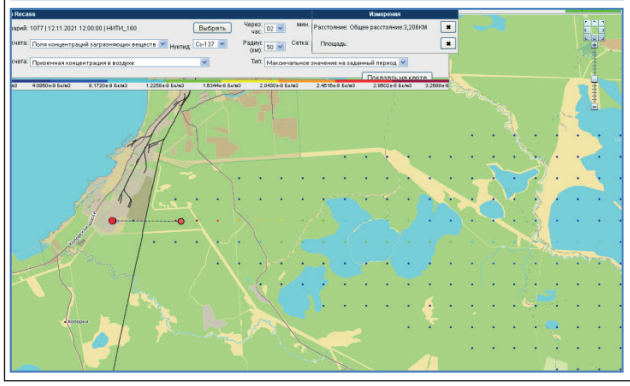
	Сценарий № 1049 от 09.10.2021. Направление ветра – в направлении Финского залива
	Сценарий № 1077 от 12.11.2021. Направление ветра – в направлении г. Санкт-Петербург

Рисунок 6 – Прогнозный расчёт расстояния, на котором формируется максимальная объёмная активность ^{137}Cs в атмосферном воздухе за счёт выброса

Заключение

1. В 2021 году с газо-аэрозольными выбросами НИТИ в воздушную среду поступили ИРГ активностью не более $3{,}58 \cdot 10^{13}$ Бк и радионуклиды, содержащиеся в аэрозолях, активностью $6{,}65 \cdot 10^{5}$ Бк. Указанные значения уровней не превысили нормативы допустимых выбросов НИТИ.

2. Регистрация незначительных количеств коррозионных радионуклидов в воздушной среде на постах АСКРО НИТИ является следствием текущих работ в НИТИ и на близлежащих предприятиях атомно-промышленного комплекса, связанных с эксплуатацией ЯЭУ и процессами обращения с РАО. Уровни активности в приземном атмосферном воздухе, наблюдаемые на промплощадке НИТИ, радиоэкологически безопасны для персонала предприятий и проживающего в г. Сосновый Бор населения. В 2021 году максимальные объёмные активности радионуклидов в аэрозолях атмосферного воздуха на территории НИТИ были на 4–7 порядков ниже соответствующих значений $ДОА_{нас}$ по НРБ-99/2009. Максимальная объёмная активность и одновременно самый высокий процент от $ДОА_{нас}$ в аэрозолях атмосферного воздуха зарегистрирован в марте по ^{60}Co на территории поста 6 – 374 мкБк/м^3 ($3{,}4 \cdot 10^{-3}$ % от $ДОА_{нас}$).

3. Индивидуальная эффективная доза жителя г. Сосновый Бор от всех источников облучения НИТИ в 2021 году составила $3{,}62 \cdot 10^{-8}$ Зв, что существенно ниже квоты 0,2 мЗв, выделенной НИТИ на выбросы и сбросы, и фактически незначима для населения города.

4. Ежесуточно проводился автоматизированный расчёт и прогноз концентрационных и дозовых полей радиоактивного загрязнения от выбросов зд. 160 на рас-

стоянии до 50 км с помощью СПО «RECASS». Прогнозные расчёты по 2021 году свидетельствуют, что максимум активности в факеле выброса формируется на расстоянии 3–5 км от источника при скоростях ветра от 2 м/с до 5 м/с. При этом расчётная максимальная объёмная активность ^{137}Cs в атмосферном воздухе составляет не более $5{,}0 \cdot 10^{-8}$ Бк/м^3, что меньше нижнего предела измерения регистрирующей аппаратуры.

5. Результаты радиационного мониторинга воздушной среды в районе расположения НИТИ за 2021 год свидетельствуют о сохранении нормальной радиационной обстановки на контролируемой территории.

Литература

1. Регламент мониторинга радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»: № 05-21-1017Р, инв. № 15207/И. – ФГУП НИТИ, 2021. – 19 с.
2. Регламент радиационного контроля. Стендовый комплекс зд. 160. Блоки А, Б, В. № РБ-12-053Р. – ФГУП НИТИ, 2012. – 64 с.
3. Расчёт эффективных доз облучения населения, обусловливаемых газо-аэрозольными выбросами стендов НИТИ: методические указания ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»: № 05-03-133М; Инв. № 7611/И. – ФГУП НИТИ, 2003. – 13 с.
4. Методические рекомендации по расчёту нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ из организованных источников в атмосферный воздух применительно для организаций ГК «Росатом»: методические рекомендации № 1-1/310-Р. – М.: Концерн «Росатом», 2014 – 82 с.
5. Методика разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух (ПДВ-2012): утв. Приказом Ростехнадзора от 07.11.2012; № 639, зарег. в Минюсте России 18.01.2013 № 26595.
6. Гусев Н.Г. Справочник. Радиоактивные выбросы в атмосфере / Н.Г. Гусев, В.А. Беляев – М.: – Энергоатомиздат, 1986. – 222 с.

5.2 Разработка автоматизированных стендов приготовления поверочных растворов для поверки приборов АХК ВХР

И.К. Коленчикова, И.В. Чистяков

В настоящее время системы АХК ВХР первого и второго контуров отечественных АЭС, в том числе проектов «АЭС-2006», не в полной мере оснащены оборудованием для выполнения метрологического обслуживания приборов химического контроля. В НИТИ была выполнена разработка и изготовление автоматизированных стендов, предназначенных для приготовления поверочных растворов с нормируемыми метрологическими характеристиками. Данные стенды могут осуществлять весь необходимый объём метрологического обслуживания системы АХК ВХР первого и второго контуров ЯЭУ. Стенды предполагалось использовать для периодической калибровки (градуировки), настройки и поверки измерительных каналов и приборов в составе измерительных систем АХК ВХР первого и второго контуров для первой

и второй очереди АЭС-2006 на площадке ЛАЭС-2, а также для поверки средств физико-химических измерений в динамическом и статическом режимах.

Прототипом для данного изделия служил ранее разработанный в НИТИ унифицированный стенд УСПР. Вновь разработанные стенды в сравнении с УСПР обладают улучшенными метрологическими характеристиками, увеличенной номенклатурой поверочных растворов и расширенными техническими характеристиками.

Заложенные в автоматизированный стенд приготовления поверочных растворов (АСППР) научно-технические решения позволяют использовать его как комплекс, обеспечивающий воспроизведение реальных режимов функционирования приборов первого и второго контуров АЭС, а также проводить их калибровку (градуировку) и периодическую поверку в режимах on-line и off-line с требуемой концентрацией заданной компонента в поверочных растворах с нормируемыми характеристиками погрешности.

В период с 2017 по 2021 гг. в ФГУП НИТИ было разработано и поставлено заказчику пять единиц стендов АСППР в трёх исполнениях (АСППР.1 – для первого контура АЭС, АСППР.2 – для второго контура АЭС и АСППР-ЛБК – в лабораторном исполнении), отличающихся между собой номенклатурой и диапазоном поверочных растворов, а также массогабаритными характеристиками. В декабре 2021 года завершены работы по монтажу и вводу в эксплуатацию поставленных заказчику изделий.

По своему назначению стенд АСППР обеспечивает:

- формирование и непрерывную подачу поверочного раствора требуемого регламентированного состава в течение не менее 30 минут;
- изменение содержания основного компонента в поверочном растворе в течение 2 часов не менее 4 раз;
- подачу в течение 8-часовой рабочей смены не менее трёх видов поверочных растворов.

Конструктивно стенд АСППР состоит из следующих блоков, размещенных в приборной стойке: блока бака запаса (ББЗ) дистиллята, блока подготовки воды (БПВ), блока приготовления ионов растворов (БПРИ), блока термостатирования (БТ), блока приготовления растворов компонентов с заданным значением pH (БПрН), блока приготовления растворов газов (БПРГ), блока бака дренажа (ББД), блока подачи поверочных растворов (БППР), блока управления и автоматики АСППР (БУиА).

Основной состав оборудования стенда: кондуктометр, анализатор растворенного кислорода, расходомеры, насосы, термостат, мембранные контакторы, датчики давления и температуры, измерители уровня, регуляторы давления и другие элементы гидравлической и пневматической системы, объединенные гидравлическими, пневматическими и электрическими линиями, а также панельный компьютер. В состав стенда включены также программное обеспечение, комплекты запасных частей, инструментов, принадлежностей, технических средств и реактивов для выполнения стендом назначенных функций.

В состав АСППР-ЛБК дополнительно входят автономная система приготовления деионизованной воды и стойка для поверяемых приборов.

Компоновка устройств в автоматизированном стенде произведена по их функциональному назначению с учётом минимизации гидравлических и электрических коммуникаций, удобства и безопасности эксплуатации, ремонта и технического обслуживания

Приготавливаемые АСППР растворы по способу генерации условно делятся на три типа:

- 1 тип: растворы ионов компонентов, полученные смешением потоков очищенной воды и концентрированного раствора компонента;
- 2 тип: растворы газов компонентов, полученные насыщением очищенной воды поверочными газовыми смесями при постоянном давлении и температуре;
- 3 тип: растворы компонентов с заданным значением pH, изготовленные лабораторным методом и подаваемые потребителю одним из насосов стенда.

Для получения растворов 1-го типа соответствующие емкости стенда заполняются концентрированным раствором компонента, приготовленным лабораторным методом. Исходной водой для стендов АСППР является деионизованная вода, которая на блоке подготовки воды (БПВ) под контролем кондуктометра и анализатора растворенного кислорода достигает требуемых характеристик. Концентрированный раствор компонента и очищенная вода подаются с помощью насосов в смеситель, на выходе которого после перемешивания и стабилизации температуры полученный раствор имеет требуемые метрологические характеристики и может быть подан потребителю.

Растворы 2-го типа генерируются в блоке приготовления растворов газов (БПРГ), куда подается очищенная вода, стабилизированная по температуре. Далее вода насыщается на мембранном контакторе поверочной газовой смесью при постоянном давлении и температуре и подается потребителю в непрерывном режиме.

Растворами 3-го типа, приготовленными лабораторным методом, заполняются соответствующие емкости АСППР, после чего насосом подаются потребителю.

Для приготовления поверочных растворов ионов компонентов в воде деионизированная вода из системы подготовки воды потребителя (КВС) (для АСППР-1 и АСППР-2) или из установки для получения очищенной воды «АКВАЛАБ» (для АСППР-ЛБК) поступает в блок бака запаса (ББЗ) и дополнительно очищается от примесей с помощью механического фильтра. После заполнения бака запаса Б1 вода из него под действием насоса Н1 поступает в блок подготовки воды (БПВ), где проходит очистку от растворенных газов, кислорода и ионных примесей и сбрасывается в дренажный бак Б2.

После достижения установленных значений массовой концентрации растворенного кислорода и удельной электропроводности, измеряемых датчиками из состава анализатора кислорода ДК1 и датчиком проводимости из состава кондуктометра-солемера С1 соответственно, входящими в состав БПВ, очищенная вода направляется в блок приготовления растворов ионов (БПРИ). В БПРИ основной поток очищенной воды смешивается с потоком концентрированных растворов ионов в воде, приготовленных лабораторным методом по прилагаемой методике. После смешивания потоков растворы ионов поступают в блок термостатирования (БТ), который обеспечивает поддержание температуры растворов на заданном уровне. Далее приготовленные растворы ионов направляются в блок подачи поверочных растворов (БППР), который предназначен для регулирования расхода и давления приготовленных растворов, и далее подаются потребителю или сбрасываются в бак запаса или в дренаж.

Для приготовления поверочных растворов газов вода после БПВ через БТ направляется в блок приготовления растворов газов (БПРГ), в котором последовательно насыщается водородом или кислородом из баллонов с поверочными газовыми смесями. Приготовленные растворы газов направляются в БППР и далее подаются потребителю.

Устройство для воспроизведения и передачи единиц массовой концентрации газов в жидких средах защищено патентом Российской Федерации на изобретение № 2722967.

Для подачи потребителю растворов с различными значениями pH используется блок приготовления растворов pH (БПрН), который включает в себя емкости с растворами pH, приготовленными из стандарт-титров лабораторным методом по прилагаемой методике, перистальтический насос Н3, подающий приготовленные растворы через БТ и БППР потребителю.

АСППР работает в автоматическом режиме по специальной программе, управление осуществляется блоком управления и автоматики АСППР (БУиА). Задание исходных данных, режимов работы, обработка и вывод информации осуществляется с помощью панельного компьютера с его сенсорного монитора.

Панельный компьютер обеспечивает:

- управление работой АСППР;
- выбор режима работы стенда;
- выбор типа поверочного раствора;
- задание предварительных характеристик поверочных растворов;
- режим приготовления поверочного раствора;
- отображение текущих параметров АСППР;
- отображение метрологических характеристик поверочных растворов.

После подачи питания на АСППР запускается панельный компьютер, на котором выполняется загрузка операционной системы и появляется главное окно программы ASPPR (рисунок 1).

Рисунок 1 – Главное окно программы ASPPR

Главное окно позволяет выбрать тип поверочного раствора и загрузить основной рабочий экран программы (рисунок 2)

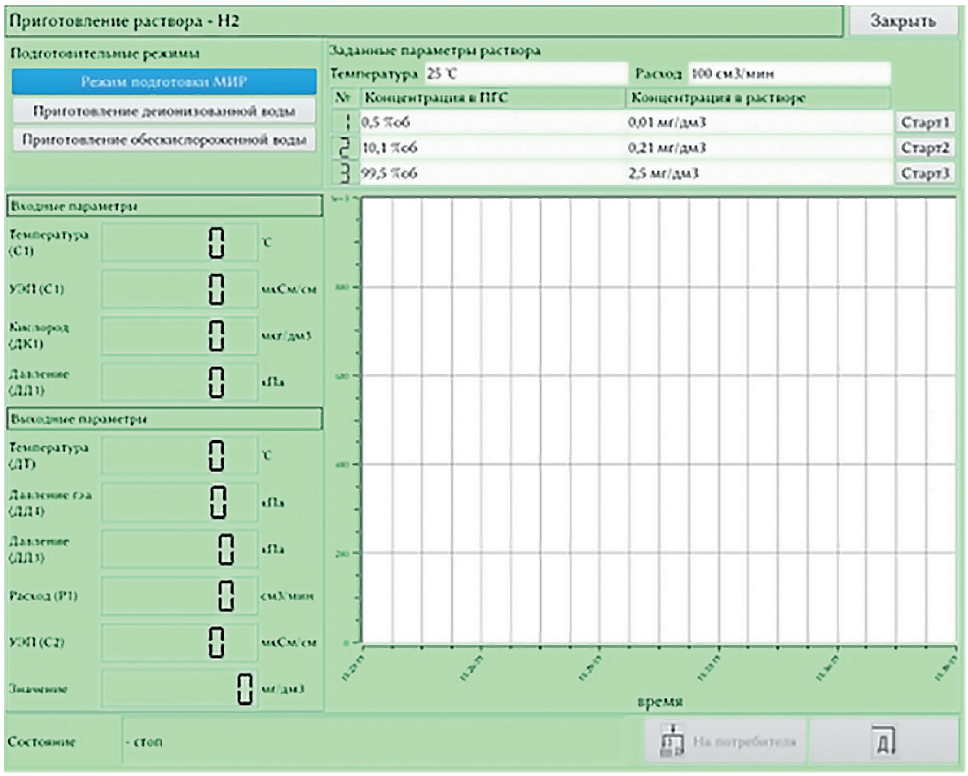


Рисунок 2 – Основной рабочий экран программы (на примере приготовления поверочных растворов с массовой концентрацией растворенного в воде водорода)

Программа ASPPR позволяет осуществлять контроль за теплотехническими параметрами воды: температурой и давлением очищенной (деионизованной и обескислороженной) воды, содержанием кислорода и её удельной электропроводностью, за расходом, температурой и давлением поверочного раствора, а также за составом приготавливаемого поверочного раствора и за стабильностью его характеристик.

Основной функцией панельного компьютера является управление АСППР, дополнительно программное обеспечение позволяется выполнять сбор, архивацию и передачу информации.

Для АСППР была разработана документация, включающая в себя основной комплект КД и эксплуатационную документацию в составе:

- руководство по эксплуатации;
- формуляр;
- методику поверки;
- руководство по техническому обслуживанию и ремонту;
- технические условия;
- методика поверки.

Периодическая поверки АСППР должна проводиться 1 раз в год по месту эксплуатации. Структурная схема АСППР приведена на рисунке 3.

Общий вид стенда представлен на рисунке 4.

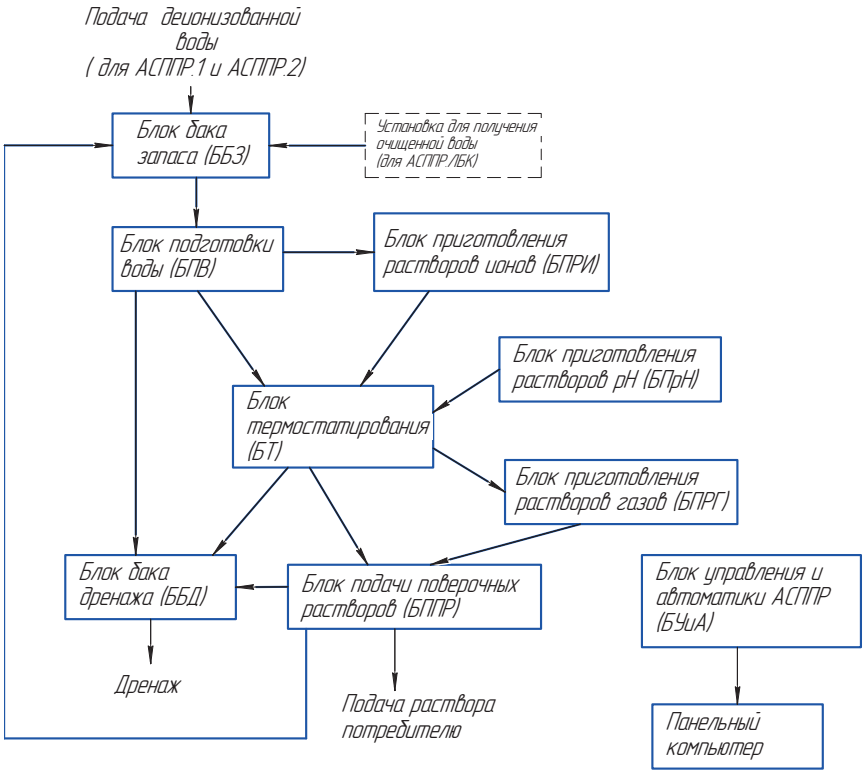


Рисунок 3 – Структурная схема АСППР

В 2018 году проведены испытания в целях утверждения типа, и стенд приготовления поверочных растворов автоматизированный - АСППР приказом № 622 от 25.03.2019 г. внесен в особый раздел Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений как средство изменения под номером 74452-19.

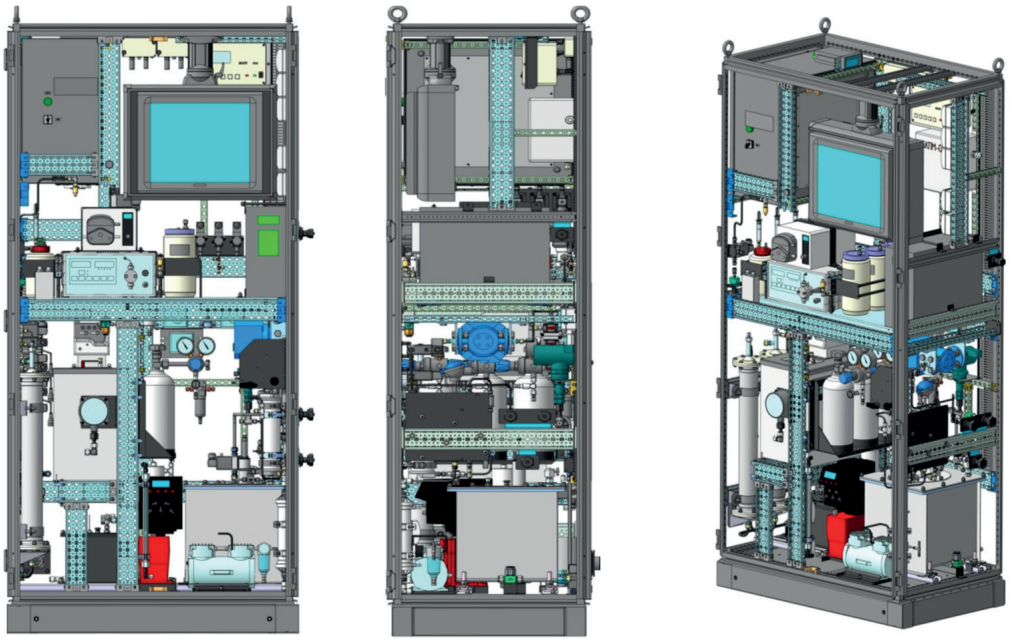


Рисунок 4 – Общий вид стенда АСППР

5.3 Разработка методики идентификации микродефектов оболочек дисперсионных твэлов ЯЭУ транспортного назначения по результатам внереакторной дефектации

Р.В. Фоменков, Р.Э. Зинатуллин, А.А. Ефимов

При разработке методики идентификации микродефектов оболочек дисперсионных твэлов ЯЭУ транспортного назначения в 2021 году был выполнен анализ результатов экспериментов с негерметичными облучёнными тепловыделяющими сборками. Анализ был основан на измерении активности ^{85}Kr, поступающего в газовую (воздушную) среду специального стенда внереакторной дефектации при различных значениях параметров внешней среды (температура, давление, время).

В статье приведены результаты исследования влияния данных параметров на стимулирование скорости выхода ^{85}Kr из негерметичных твэлов.

Установлено, что в отличие от давления измерение температуры внешней среды от 150 °C до 300 °C позволяет повысить скорость выхода ^{85}Kr на 2–3 порядка. Предложен порядок проведения дефектации с обязательной операцией постепенного повышения температуры внешней среды до 300 °C под контролем оператора стенда. Показано, что дефектация ОТВС с нагревом среды до температур выше 150 °C, требует дополнительной очистки газа в контуре стенда деффектации от радионуклида ^{14}C в форме CO и CO_2. Предложен способ его удаления из контура.

Введение

Основным источником появления в водном теплоносителе ЯЭУ продуктов деления ядерного топлива является их выход из-под оболочки твэлов через дефекты различного вида. Появление дефектов в оболочках твэлов ЯЭУ транспортного назначения связано в основном с развитием межкристаллитной коррозии [1]. Указанные дефекты, как правило, представляют собой физические повреждения различного размера: от микротрещин (газовая неплотность) до макротрещин (дефекты, допускающие непосредственный контакт топлива с теплоносителем) [2]. Разгерметизация твэлов в процессе работы ЯЭУ приводит, кроме всего прочего, к выходу в теплоноситель летучих радиоактивных газов и йода, что создаёт угрозу выхода радионуклидов в окружающую среду. Поэтому проведение дефектации облучённых тепловыделяющих сборок (ОТВС) на предмет определения степени разгерметизации оболочек твэлов важно и необходимо не только для оценки проектного, фактического и остаточного ресурса материала оболочки твэлов, но также и для выявления их эффективности действия в качестве одного из важнейших барьеров безопасности ЯЭУ в системе глубоко эшелонированной защиты [3].

При создании новых перспективных образцов твэлов требуется обоснование их надёжности. Верификация прочностных расчётных моделей выполняется по результатам материаловедческих исследований ОТВС после их облучения на петлевых установках или в составе активных зон (а.з.) полномасштабных стендов-прототипов [4, 5]. Из всего массива облучённых сборок возникает необходимость выборки нескольких наиболее «представительных»

негерметичных ОТВС с различными типами дефектов (крупные, средние и микродефекты) [6]. Данная выборка осуществляется по результатам контроля герметичности оболочек (КГО) твэлов.

Для стационарных ЯЭУ накоплен большой опыт КГО твэлов специальными системами контроля как на работающем реакторе, так и в процессе проведения планово-предупредительного ремонта. Для этого после останова реактора применяются: контроль в пеналах штатной системы обнаружения дефектов сборок [7, 8], диагностика ТВС при их перегрузке из реактора [9, 10] и в бассейнах выдержки отработавшего ядерного топлива [11, 12]. Основная задача штатных методов КГО сводится к отбраковке тепловыделяющих сборок (ТВС) по принципу «герметична» или «негерметична». Для определения относительных размеров дефекта применяется методика циклического подъёма и сброса давления в контуре стенда дефектации [13, 14].

Для ЯЭУ транспортного назначения, в силу их конструкционных особенностей и различных режимов эксплуатации, прямое применение опыта внереакторной дефектации стационарных ЯЭУ оказалось невозможным. Если для поиска крупных дефектов твэлов дисперсионного типа можно использовать метод оперативного КГО твэлов при выгрузке ледокольных активных зон [15] и метод внутриреакторной дефектации [16], а поиск средних дефектов выполняется при внереакторном КГО «сухим» методом с нагревом ОТВС до 150 °С на специальном стенде [17] (предполагался как штатный метод, применительно к нашей установке), то для идентификации ОТВС с микродефектами применение внереакторной дефектации по штатному методу оказалось неэффективным. Это связано с тем, что при нагреве до 150 °С, скорость выхода ^{85}Kr из ОТВС через микродефекты недостаточна для её измерения с использованием штатных устройств измерения объёмной активности газа типа УДГ-1Б.

Поэтому потребовалась разработка усовершенствованной методики внереакторной дефектации ОТВС с микродефектами, основанной на идентификации ^{85}Kr на универсальном стенде дефектации, созданном в НИТИ [18, 19]. С этой целью необходимо было повысить чувствительность метода определения ^{85}Kr за счёт устранения факторов, мешающих достоверному определению активности нуклида.

Методическая часть

1. Техническая база внереакторной дефектации

Результаты КГО были получены на универсальном стенде дефектации (УСД) [18,19], разработанном в НИТИ и позволяющем выполнять нагрев ОТВС до температур от 60°С до 300°С. Давление в газовом циркуляционном контуре УСД могло изменяться в диапазоне от $4{\cdot}10^3$ Па до $6{\cdot}10^5$ Па.

Функционально УСД состоит из трёх основных частей: герметичного испытательного контейнера (ГИК) с электронагревателями; газового циркуляционного контура (ГЦК) с запорной и соединительной аппаратурой, измерительного контура (ИК) с системой отбора газовых проб и комплексом измерительной аппаратуры. Принципиальная схема УСД приведена на рисунке 1.

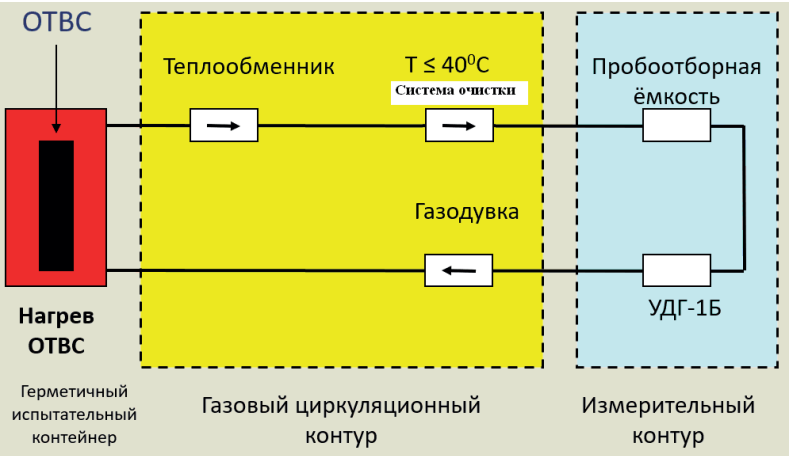


Рисунок 1 – Принципиальная схема универсального стенда дефектации

Внереакторный контроль герметичности облучённых твэлов с использованием УСД основан на измерении активности ^{85}Kr, выход которого в газовую среду стенда из твэлов происходит как через средние и крупные дефекты, так и через микротрещины (газовая неплотность). Чувствительность выбранного метода определяется минимальной объёмной активностью ^{85}Kr, достоверно измеряемой средствами системы радиационного контроля (СРК). Поэтому при разработке методики обнаружения микротрещин необходимо было организовать сравнение результатов измерений бета- и гамма-активности ^{85}Kr в одномоментных условиях.

На практике выполнение дефектации осуществляется следующим образом. ОТВС помещается в ГИК, где нагревается до заданной температуры. Далее с определённой периодичностью проводится продувка контура воздухом за счёт включения газодувки. Объёмная активность газа в измерительном контуре определяется с использованием устройства детектирования активности газа (типа УДГ-1Б). При необходимости газ со стенда дефектации отбирается в пробоотборную ёмкость для его анализа в лабораторных условиях с применением, в том числе гамма-спектрометрической аппаратуры.

2. Обоснование выбора параметров и алгоритмов дефектации ОТВС

Для обоснования факторов, влияющих на информативность дефектации ОТВС с микротрещинами, и уточнения параметров осуществления процесса нагрева сборок при потенциальной возможности дефектации ОТВС с крупными дефектами были рассмотрены эксперименты, в ходе которых в ГИК УСД загружались ОТВС с разной степенью разгерметизации.

2.1 Обоснование измеряемого параметра

Для наблюдения за процессом выхода ^{85}Kr из ОТВС в газовую фазу вместо объёмной активности нуклида предложено использовать скорость выхода ^{85}Kr (υ). Её значение определялось как отношение разности объёмных активностей нуклида в контуре, измеренных при двух последовательных измерениях, к промежутку времени между измерениями:

$$\upsilon_i = \frac{A^i_з - A^i_н}{t^i_з - t^i_н} \times V, \qquad (1)$$

где $t^i_н$ и $t^i_з$ – время начала и завершения i-го этапа эксперимента, ч ($t^i_з > t^i_н$);
$A^i_з$ и $A^i_н$ – объёмная активность ^{85}Kr в контуре стенда дефектации, измеренная в моменты времени $t^i_з$ и $t^i_н$, соответственно, Бк/м^3; V – объём газа в контуре стенда дефектации.

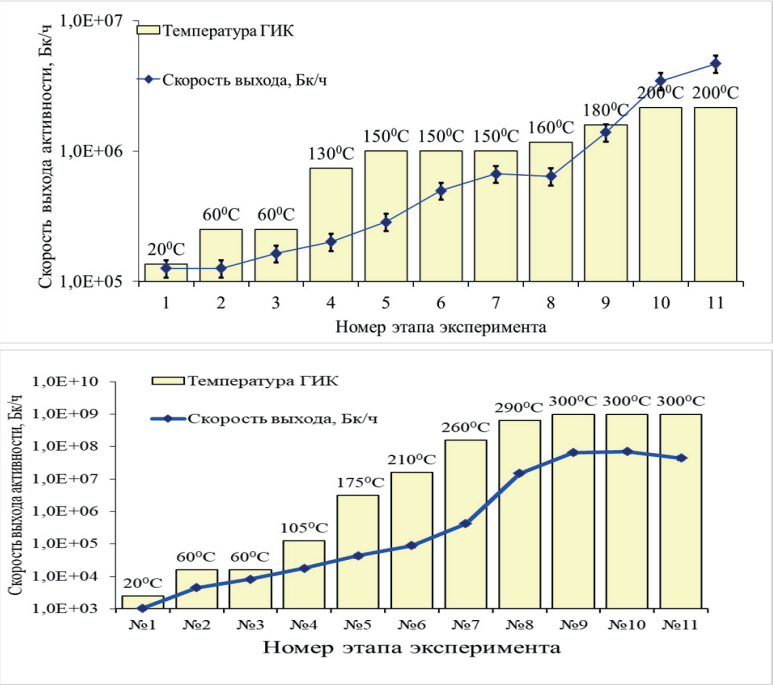
2.2 Влияние внешнего давления в контуре на скорость выхода ^{85}Kr в газовую фазу УСД

Эксперименты с изменением давления выполнялись при фиксированной температуре (t ≈ 20 °C) и состояли из четырёх этапов, на каждом из которых определялось среднее значение скорости выхода ^{85}Kr. На первых двух этапах давление не изменялось. На третьем этапе давление циклически повышалось с $1 \cdot 10^5$ Па до $6 \cdot 10^5$ Па, а на четвёртом этапе – циклически снижалось с $1 \cdot 10^5$ Па до $0{,}04 \cdot 10^5$ Па. Анализ результатов экспериментов показал [20], что скорость выхода криптона в пределах погрешности измерения находиться на одном уровне. Это позволяет сделать вывод о неэффективности изменений внешнего давления для стимулирования выхода ^{85}Kr из облучённых дисперсионных твэлов.

2.3 Влияние температуры на скорость выхода ^{85}Kr в газовую фазу УСД

Штатная технология дефектации [17] не позволяет достоверно измерить активность ^{85}Kr из-за низких скоростей выхода радионуклида в газовую среду при заданных параметрах процесса. Была выполнена проверка возможности увеличения скорости выхода нуклида за счёт повышения температуры нагрева ОТВС. На рисунке 2 приведены результаты определения скорости выхода ^{85}Kr в газовую фазу при поэтапном нагреве разных ОТВС с 20 до 200 °C (а) и с 20 до 300 °C (б) при постоянном давлении.

Как видно из данных, представленных на рисунке 2, повышение температуры более эффективно для идентификации микротрещин, чем измерение давления. При повышении температуры нагрева со 150 °C (штатный режим, не обеспечивающий достоверность и надёжность результатов измерений) до 200°C скорость выхода υ увеличивается на порядок (рисунок 2а), а при повышении со 150 °C до 300 °C – на два-три порядка (рисунок 2б), что существенно повышает чувствительность контроля.



а)

б)

Рисунок 2 – Изменение скорости выхода ^{85}Kr в газовую фазу при поэтапном нагреве ОТВС с 20 до 200 °C (а) и с 20 до 300 °C (б) при постоянном давлении

Следует отметить, что приведённые на рисунке 2 результаты не следует автоматически переносить на дефектацию всех сборок. Суммарные действия таких факторов, как высокая температура нагрева (нагрев до 300 °С) и наличие макродефектов в оболочке ОТВС могут привести к неконтролируемому радиоактивному загрязнению газовых «застойных» зон летучими и газообразными радионуклидами, что неизбежно приведёт к искажению реальной картины выноса ^{85}Kr в газовый циркуляционный контур УСД. Количество и объёмы «застойных» зон в любом контуре циркуляции газов определяются конструктивными особенностями оборудования, запорной и соединительной аппаратуры, вспомогательных систем. При наличии значительного количества таких «загрязнённых» зон последующая их дезактивация контура циркуляции газов путём воздушной продувки может привести к образованию большого количества радиоактивных отходов и необходимости рабочей перегрузки измерительной радиометрической аппаратуры.

Таким образом, при дефектации ОТВС следует уделять особое внимание полноте удаления ^{85}Kr из застойных участков газового контура УСД между операциями проведения дефектации. Недостаточная продувка может привести к «всплескам» объёмной активности нуклида при дефектации последующих ОТВС и, как следствие, к ошибочной оценке их герметичности.

Для оценки объёмов газовых «застойных» зон и поиска вариантов их минимизации в конструкции УСД, а также установления необходимого временного регламента удаления из «застойных» зон ^{85}Kr между очередными операциями дефектации, был выполнен анализ специальных экспериментов. В эксперименты входило определение динамики насыщения («загрязнения») застойных газовых объёмов УСД радионуклидом ^{85}Kr с последующим по времени выходом активности этого нуклида на равновесные уровни в циркулирующей газовой фазе УСД, измеряемой устройством УДГ-1Б без участия ^{85}Kr, «загрязняющего» застойные зоны при 150 °С и 300 °С.

Экспериментальные результаты

1. Динамика изменения активности ^{85}Kr в газовом контуре УСД в процессе дефектации ОТВС при 150 °С

В рассмотренных экспериментах использовались негерметичные сборки, которые помещались в ГИК, заранее нагретый до 150 °С. Измерение объёмной активности ^{85}Kr проводилось в непрерывном режиме. При этом, периодически измерительный контур изолировался от ГИК с ОТВС для определения его активности путём многократных измерений в стационарных условиях (проведение серии измерений). На рисунке 3 приведены типичные результаты измерений объёмной активности газовой фазы УСД в процессе дефектации ОТВС. Пологие участки уровней объёмной активности ^{85}Kr относятся к конкретной серии измерений (№ 1–№ 4) через определённые промежутки времени в процессе дефектации. Между сериями измерений выполнялось перемешивание газа в контуре УСД за счёт включения газодувки.

Из рисунка 3 видно, что в серии измерений № 1 (начало контакта ОТВС с воздушной средой в ГИК) исходные значения объёмной активности газа в контуре УСД находились на уровне (10^3–10^4) Бк/м^3. Но уже через 0,5 часа выдержки ОТВС при 150 °С объёмная активность ^{85}Kr в контуре выросла на четыре порядка – до уровня (10^7–10^8) Бк/м^3. Затем объёмная активность ^{85}Kr стабилизировалась на уровне (10^8–10^9) Бк/м^3.

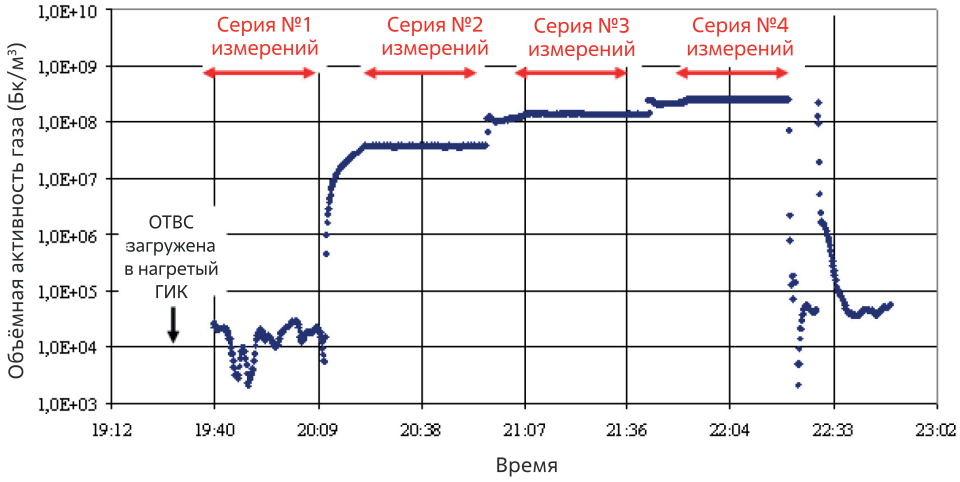


Рисунок 3 – График изменения показаний блока детектирования УДГ-1Б в процессе дефектации при 150°С

Таким образом, было определено, что объёмная активность ^{85}Kr в контуре уже при выдержке при 150 °С возрастает по сравнению с «фоновыми» значениями на 4–5 порядков. С учётом данных рисунка 2 помещение дефектных ОТВС в атмосферу ГИК, нагретую до 300 °С, может привести к резкому возрастанию объёмной активности ^{85}Kr до уровня выше 10^{11} Бк/м^3, что создаст угрозу радиоактивного «загрязнения» застойных зон контура, а также перегрузки измерительного оборудования и срыва экспериментов в целом. Поэтому дефектацию ОТВС при 300 °С целесообразно проводить с постепенным нагревом. Кроме того, если нагрев ОТВС выполнять при постепенном повышении температуры до 300 °С с периодическим контролем активности ^{85}Kr в контуре, у оператора будет время для остановки нагрева при достижении критического значения активности. При реализации данного алгоритма можно избежать нежелательного загрязнения контура.

2. Динамика изменения активности газа в контуре УСД в процессе дефектации герметичных ОТВС при постепенном нагреве до 300 °С

Для оценки возможности практической реализации предложенного алгоритма дефектации был выполнен анализ экспериментов, поставленных при нагреве до 300 °С герметичных ОТВС. В ходе анализа имеющихся данных было установлено, что результаты определения объёмной активности ^{85}Kr по его бета-активности, измеренной с применением УДГ-1Б, сильно отличаются от результатов гамма-спектрометрических измерений, выполненных в лабораторных условиях с применением полупроводникового гамма-спектрометра. Подобных расхождений при дефектации с нагревом ОТВС до 150 °С не наблюдалось.

Типичное измерение показаний УДГ-1Б в процессе дефектации герметичных ОТВС с нагревом до 300 °С представлено на рисунке 4.

Как видно из рисунка 4, объёмная активность газа после размещения ОТВС в ГИК была на уровне фоновых значений. С течением времени при температуре ГИК выше 150 °С объёмная активность в измерительном контуре стенда начинает возрастать с постоянной скоростью за счёт поступления в контур «мешающих» примесей.

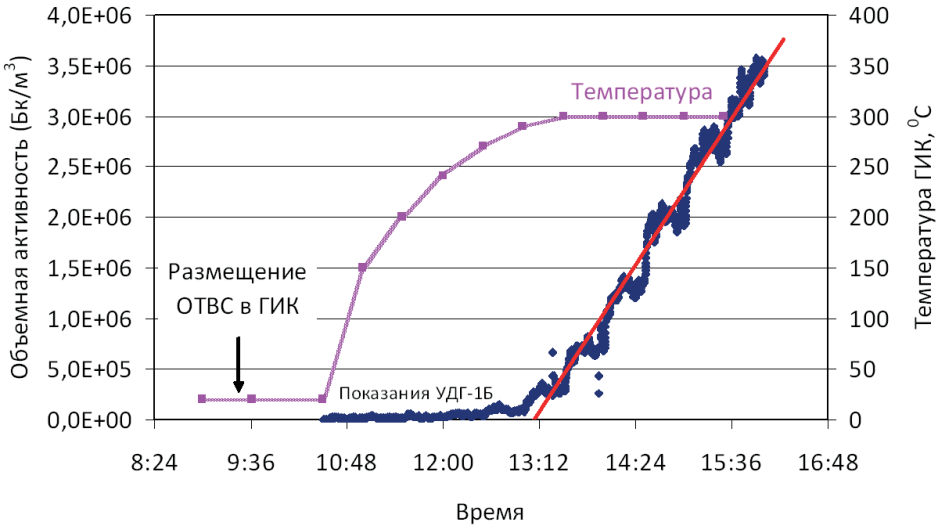


Рисунок 4 – Изменение показаний УДГ-1Б в ходе дефектации ОТВС с нагревом до 300 °С

3. Идентификация примесей, мешающих определению объёмной активности ^{85}Kr

Анализ в лабораторных условиях с применением методов гамма-спектрометрии проб газа, отобранных со стенда дефектации при нагреве герметичных ОТВС до 300 °С, показал, что гамма-излучающих радионуклидов в пробах нет. Объёмная активность газа определялась только бета-излучающими изотопами.

Анализ счётных образцов, изготовленных из отобранных со стенда дефектации проб, с применением спектрометра бета-частиц показал, что граничная энергия бета-спектра «мешающих» нуклидов находится на уровне 150 кэВ. Сопоставление граничной энергии «мешающих» радионуклидов с граничными энергиями радионуклидов, образующихся при эксплуатации ядерных установок [21], представлено на рисунке 5.

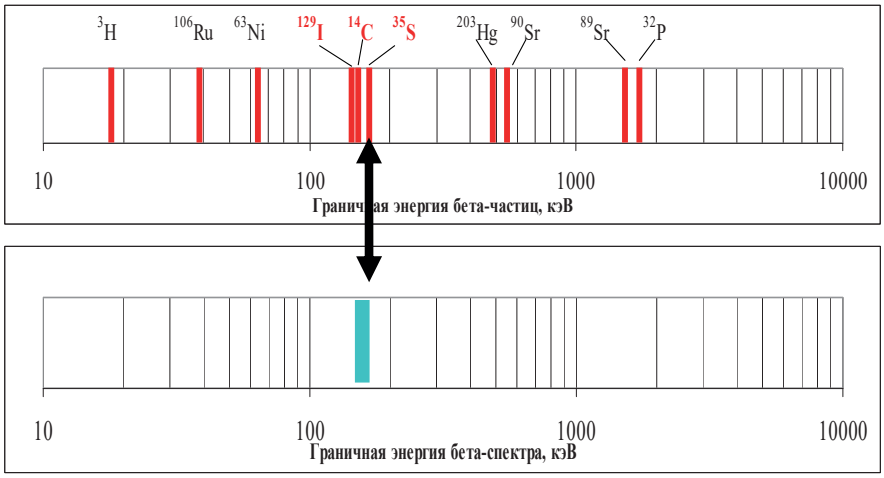


Рисунок 5 – Граничная энергия бета-частиц для нуклидов, образующихся при работе ЯЭУ (верхний рисунок), и измеренная при анализе «мешающих» радионуклидов (нижний)

Сопоставление результатов, представленных на рисунке 5, позволяет выбрать из круга радионуклидов три претендента – ^{129}I, ^{14}C и ^{35}S. Однако, сразу же из указанных претендентов следует исключить ^{129}I, поскольку для достижения наблюдаемой активности нужен контакт с открытым топливом [22], а «мешающие» примеси выходили из герметичных ОТВС. Нуклид ^{35}S также следует исключить по причине его полного распада к моменту проведения эксперимента. Таким образом, остаётся ^{14}C.

Анализ проб газа с применением методов газовой хроматографии показал, что нагрев ОТВС до температуры выше 150 °С приводит к росту концентрация CO_2 и CO в 6–8 раз, объёмное содержание CO_2 достигает значения 0,3 % об., а CO – 0,01 % об. Концентрация других газообразных форм углерода существенно не меняется.

Полученные данные позволили сделать вывод о том, что нагрев ОТВС до температуры выше 150°С приводит к поступлению в измерительный контур нуклида ^{14}C в форме CO и CO_2 [22, 23]. Модернизация стенда дефектации за счёт включения в его состав колонки с сорбентом «Силоксид» и барботёра промышленного изготовления с раствором NaOH [24] позволяет существенно снизить объёмную активность ^{14}C (см. рисунок 6).

Согласно анализу результатов специальных экспериментов, после включения системы очистки начинается резкое снижение объёмной активности газа в контуре. Содержание CO и CO_2 при этом падает ниже 0,01% об., а их объёмная активность снижается до $1 \cdot 10^5$ Бк/м^3 за 15 минут.

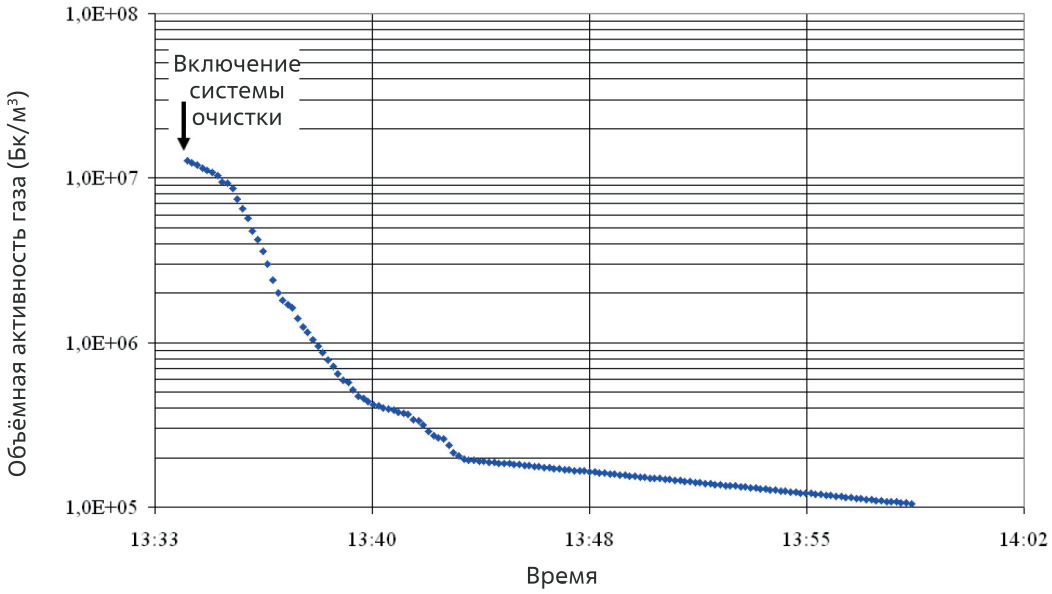


Рисунок 6 – График изменения показаний блока детектирования УДГ-1Б в процессе очистки газа от «мешающих» примесей

Отметим, что после модернизации стенда дефектации, объёмная активность ^{14}C в форме CO и CO_2 при нагреве сборок до 300 °С была снижена до уровня фоновых значений. Расхождений результатов радиометрического и спектрометрического контроля выявлено не было.

Заключение

1. Для обнаружения и идентификации микродефектов (газовой неплотности) оболочек дисперсионных твэлов при внереакторной дефектации ОТВС ЯЭУ транспортного назначения предложено использовать способ определения негерметичности, основанный на измерении скорости выхода ^{85}Kr в газовую (воздушную) среду специального стенда дефектации из негерметичного твэла при нагреве исследуемой ОТВС до определённой температуры в герметичном испытательном контейнере стенда и выдержки сборки при этой температуре определённое время при циклической продувке воздушной среды.
2. Показано, что для поиска микротрещин (микродефектов) циклические измерения внешнего давления (по отношению к ОТВС) давления не оказывают видимого влияния на выход ^{85}Kr в газовую фазу стенда. Температура оказывает более сильное влияние на этот процесс – при повышении температуры от 150°C до 300°C скорость выхода ^{85}Kr возрастает на 2–3 порядка в зависимости от степени разгерметизации и наличия микродефектов в оболочке твэлов.
3. 3. Установлено, что размещение ОТВС с крупными дефектами в ГИК, нагретый до температуры 300 °C, нельзя использовать в качестве стандартного регламента дефектации. Это может привести сильному загрязнению контура, перегрузке измерительной аппаратуры, а также выходу радионуклида ^{85}Kr из застойных участков (при недостаточной продувке контура) при дефектации последующих ОТВС.
4. Выявлено, что в процессе дефектации ОТВС с нагревом выше 150 °C начинается («провоцируется») поступление в газ стенда дефектации радионуклида ^{14}C в форме летучих соединений CO и CO_2. Присутствие ^{14}C в контуре препятствует измерению объёмной активности ^{85}Kr с применением штатных средств измерения суммарной бата-активности газа (УДГ-1Б). Установлено, что модернизация УСД за счёт включения в его состав промышленного барботёра с раствором щелочных металлов и колонки с сорбентом «Силоксид» позволяет снизить объёмную активность ^{14}C до уровня фоновых значений. Получен патент № 2622107 [24].
5. Дефектацию ОТВС предложено проводить при постепенном повышении температуры до 300 °C с периодическим контролем активности ^{85}Kr в контуре. При достижении уставки по активности оператор останавливает дальнейший нагрев ОТВС, не прекращая эксперимента.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам отдела радиационной безопасности М.Н. Баеву, О.Н. Саранча и В.К. Корневу за проведение экспериментов с ОТВС; д.т.н. И.С. Орлёнкову, который был научным руководителем направления КГО во ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»; д.т.н. В.Н. Епимахову, который занимался руководством работ по выбору и реализации способов удаления углерода из газа стенда дефектации; к.т.н. Е.Б. Панкиной, которая занималась организацией работ по измерению спектров бета-излучения от счётных образцов со стенда дефектации; к.т.н. С.Н. Орлову, который занимался решением вопросов выбора круга летучих (газообразных) бета-излучающих радионуклидов; Е.Е. Щербакову, под чьим руководством были проведены хроматографические исследования газовых проб.

Литература

1. ***Коэн П.*** Технология воды энергетических реакторов. – М.: Атомиздат, 1973. – 328 с.
2. Дезактивация АЭС с ЯЭУ с водным теплоносителем / В.Г. Крицкий, Ю.А. Родионов, П.С. Стяжкин, С.А. Матвеев; ОАО «Атомэнергопроект». – М.: «БукиВеди», 2016. – 475 с.
3. Барьеры безопасности на АЭС с канальными реакторами / Л.А. Белянин [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 192 с.
4. ***Василенко В.А.*** Концепция и технология комплексных испытаний судовых ядерных энергетических установок на наземных стендах-прототипах. – СПб.: Изд.-во «Моринтех», 2003. – 168 с.
5. Методические особенности моделирования работоспособности тепловыделяющих элементов / Г.В. Кулаков, Ю.В. Коновалов, А.А. Косауров, А.В. Ватулин // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2015. – Вып. 6. – URL: http://engjournal.ru/catalog/pmce/nre/1408.html
6. ***Перепелкин С.О.*** Изучение состояния и возможности извлечения негерметичных твэлов из ремонтопригодных ТВС ВВЭР-1000: автореферат дис. ... канд. техн. наук. – Димитровград, 2010. – 24 с.
7. РД ЭО 1.1.2.10.0522-2009. Типовая методика контроля герметичности оболочек тепловыделяющих элементов. Сборки тепловыделяющих ядерных реакторов ВВЭР-440. М.: Концерн «Росэнергоатом», 2009.
8. РД ЭО 1.1.2.10.0521-2009. Типовая методика контроля герметичности оболочек тепловыделяющих элементов. Сборки тепловыделяющих ядерных реакторов ВВЭР-1000. М.: Концерн «Росэнергоатом», 2009.
9. ***Славягин П.Д.*** Совершенствование контроля герметичности твэлов при эксплуатации энергоблоков АЭС С ВВЭР-1000 / П.Д. Славягин, В.А. Хрусталев // Энергетика и электротехника. Вестник СГТУ. – 2004. – № 4 (5). – С. 86–91.
10. Способ перегрузки и контроля герметичности тепловыделяющей сборки реактора с жидким теплоносителем и устройство для его осуществления: патент RU 2186429 C2 G21 C 17/07, 19/10.
11. Способ контроля герметичности оболочек твэлов при переводе на сухое хранение. G21C17/00, G01M3/00: патент РФ № 2147148 Исследование устройств на герметичность. Публикация патента 27.03.2000 г.
12. Способ контроля герметичности оболочек твэлов и устройство для его осуществления: патент № 2297680, Российская Федерация G21C 17/07/ А.С. Курский, В.М. Ещеркин, А.М. Краснов, А.В. Ещерки. – Опубл. 20.04.2017. Бюл. № 11.
13. Моделирование выноса радионуклидов при контроле герметичности тепловыделяющих элементов на остановленном реакторе / В.Г. Зборовский, В.В. Лиханский, И.А. Евдокимов [и др.] // Математическое моделирование. – 2011. – Т. 23, № 7. – С. 145–160.
14. Развитие и применение современных методов контроля герметичности и оценки состояния топлива на Нововоронежской АЭС / Поваров В.П. [и др.] // Теплоэнергетика. – 2014. – № 2. – С.54–64.
15. Метод оперативного контроля герметичности оболочек твэлов при выгрузке ледокольной активной зоны / М.М. Кашка [и др.] // Атомная энергия. – 2016. – Т. 121, вып. 5. – С. 290–293.

16. Способ контроля герметичности оболочек твэлов и устройство для его осуществления / Патент № 2297680, Российская Федерация G21C 17/07, А.С. Курский, В.М. Ещеркин, А.М. Краснов, А.В. Ещеркин. – Опубл. 20.04.2017; Бюл. № 11.

17. Обоснование методики контроля герметичности оболочек твэлов с матричной структурой топлива при перегрузках реактора / М.Л. Жемжуров, В.А. Левадный, В.Б. Нестеренко, И.Я. Поплыко // Известия АН БССР. Сер. физ.-энерг. Наук. – 1987. – №. 4. – С. 7–10.

18. ***Орлёнков И.С.*** Результаты контроля герметичности оболочек твэлов при ресурсных испытаниях активных зон транспортных реакторов на стендовых ЯЭУ / И.С. Орлёнков, Л.Н. Москвин, Р.Д. Филин // Проблемы и перспективы развития химического и радиохимического контроля в атомной энергетике (Атомэнергоаналитика-2017). 30 мая – 01 июня 2017 года г. Сосновый Бор, Ленинградской обл.: материалы 8 н-техн. конференции / Ред. Ю.В. Цапко. – СПб.: Изд.-во «ВВМ», 2017. – С. 20–38.

19. Внереакторный контроль герметичности оболочек твэлов ОТВС ТЯЭУ / В.Г. Ильин, В.Н. Епимахов, В.В. Четвериков, О.Н. Саранча, Р.В. Фоменков // Проблемы и перспективы развития химического и радиохимического контроля в атомной энергетике (Атомэнергоаналитика-2017). 30 мая – 01 июня 2017 года г. Сосновый Бор, Ленинградской обл.: материалы 8 н-техн. конференции / Ред. Ю.В. Цапко. – СПб.: Изд.-во «ВВМ», 2017. – С. 391–394.

20. ***Фоменков Р.В.*** Особенности внереакторной дефектации ОТВС ЯЭУ транспортного назначения / Р.В. Фоменков, Р.Э. Зинатуллин, О.Н. Саранча // Реакторные материалы атомной энергетики. Екатеринбург 6–9 сентября 2021 г.: тезисы докладов межотраслевой научно-технической конференции. – С. 37–39.

21. ***Бекман И.Н.*** Ядерная индустрия: курс лекций. – М.: МГУ, 2005. – 870 с.

22. ***Стыро Б.И.*** Динамика фоновых концентраций йода-129 и методика его определения / Б.И. Стыро, Т.Н. Недвецкайте, В.И. Филистович // Сборник докладов научно-технической конференции СЭВ. Кн. 5. – Вильнюс, 1982. – С. 155–159.

23. ***Епимахов В.Н.*** Внереакторный контроль герметичности оболочек твэлов транспортных ЯЭУ / В.Н. Епимахов, В.В. Четвериков, В.Г. Ильин, Р.В. Фоменков, М.С. Олейник // Радиохимия – 2018: IX. Российская конференция с международным участием; сборник тезисов, г. Санкт-Петербург, 17–21 сентября 2018. – Санкт-Петербург, 2018 – С. 180.

24. Vitalii Epimakhov Leak detection of irradiated fuel assemblies in naval marine plants / V.G. Ilyin, V.V. Chetverikov, O.N. Sarancha, R.V. Fomenkov // Czech Chemical Society Symposium Series 16 (2). 49-268 (2018) 18th Radiochemical Conference. ISSN 2336-7202. – URL:http: // www.ccsss.cz. – p. 172–173.

25. Способ контроля герметичности оболочек твэлов отработавших тепловыделяющих сборок транспортных ядерных энергетических установок: патент № 2622107, Российская Федерация G21C 17/00 / В.Н. Епимахов, В.В. Четвериков, В.Г. Ильин, Р.В. Фоменков, М.С. Олейник, О.Н. Саранча, Ю.К. Корнев. – Опубл. 13.06.2017.

6

6. Исследования тяжёлых аварий

В.И. Альмяшев

В 2021 году в отделе исследований тяжёлых аварий (ОИТА) ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» на комплексе экспериментальных установок «Расплав», использующих для приготовления расплава технологию индукционной плавки в холодном тигле (ИПХТ), продолжено исследование процессов, протекающих на различных стадиях тяжёлых аварий на реакторных установках (РУ) и АЭС.

По договору с ИБРАЭ РАН в сотрудничестве с ОХТИ 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.

В рамках работ ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в ОИТА выполнено исследование взаимодействия свинцово-висмутового теплоносителя (СВТ) со сталью оболочек твэлов и, в сотрудничестве с ОТФИ, теплоносителем второго контура в аварийных режимах. Полученные экспериментальные данные могут быть использованы при анализе и моделировании запроектных аварий на РУ с СВТ, а также для отладки используемых в расчётных кодах математических моделей и валидации кодов.

В рамках работ ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» по гражданской продукции в ОИТА выполнены работы по отработке технологии изготовления сцинтилляционного материала на основе оксидной эвтектики. Проведен анализ перспектив его использования в области детектирования рентгеновского и других видов ионизирующих излучений.

Ниже кратко изложены основные результаты исследований, проведенных ОИТА в 2021 году.

6.1 Экспериментальные исследования процессов, протекающих при гипотетических авариях с расплавлением активной зоны реактора со свинцовым теплоносителем

В.Б. Хабенский, В.И. Альмяшев, А.А. Сулацкий, С.В. Витоль, Е.В. Крушинов, С.Ю. Котова, Е.В. Шевченко, Е.К. Каляго, В.Р. Булыгин, Е.М. Беляева, Е.Б. Шуваева, А.В. Тимчук, Е.Е. Щербаков, А.И. Горшков, А.Н. Мельниченко, Д.А. Дронов

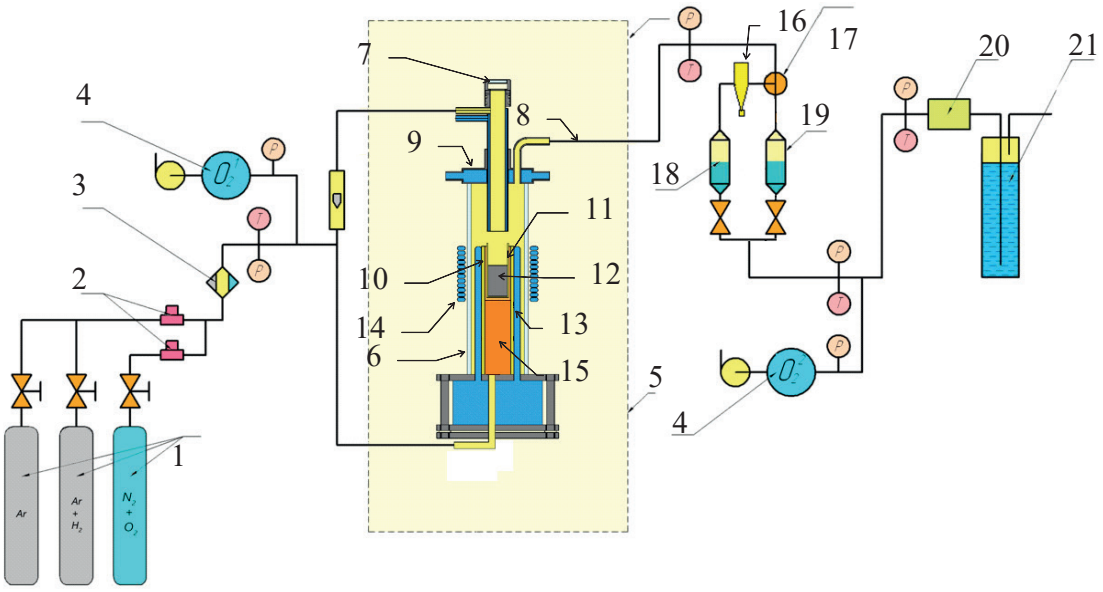
Решение материаловедческих вопросов обоснования безопасности требует проведения разномасштабных расчётно-экспериментальных исследований, позволяющих не только определить допустимые пределы рабочих параметров реакторной установки и уменьшить неопределенности в предсказании сценариев проектных и запроектных аварий, но и выявить эффекты, которые могут существенно повлиять на эти сценарии. Не являются исключением и разрабатываемые в России РУ со свинцовым теплоносителем БРЕСТ-ОД-300 и БР-1200.

Экспериментальные исследования 2021 года были разбиты на два этапа:

1. Исследование устойчивости модельного топлива на основе нитрида урана в расплаве свинца и в расплаве системы «свинец – сталь» в окислительной атмосфере ($Ar + O_2$).
2. Исследование кинетики взаимодействия модельного топлива на основе нитрида урана в расплаве свинца и в расплаве системы «свинец – сталь» в инертной и окислительной атмосфере.

Устойчивость топлива – отсутствие его деградации в условиях эксперимента. Целью проводимых экспериментов было убедиться в устойчивости топлива на основе нитрида урана, а при обнаружении следов деградации исследовать особенности его физико-химического взаимодействия с расплавом свинца, а также с расплавом системы «свинец – сталь» в условиях окислительной атмосферы при высоких температурах вплоть до температуры кипения свинца, плавления стали и кипения продуктов их окисления.

Исследования выполняли на установке «Расплав-3», представляющей собой индукционную печь с холодным тиглем, помещенную в защитный бокс из нержавеющей стали. Нагрев осуществляли при помощи 120 кГц ВЧ-генератора с установленной мощностью 100 кВт. Схема системы подачи газа и сбора аэрозолей в экспериментах BR-4(2) и BR-4(3) представлена на рисунке 1.



1 – баллоны с Ar, смесью Ar/H_2 и кислородом; 2 – регуляторы газового потока Bronkhorst; 3 – модуль смешения газов; 4 – электрохимические датчики кислорода; 5 – рабочая ячейка индукционной печи; 6 – кварцевая обечайка; 7 – шахта пирометра с кварцевым окном; 8 –место отбора газовых проб; 9 – водоохлаждаемая крышка печи; 10 – алундовый защитный тигель; 11 – засыпка из оксида алюминия; 12 – расплав; 13 – секции холодного тигля; 14 – индуктор; 15 – подставка керамическая; 16 – циклон; 17 – трехходовой кран; 18 – фильтр большой площади (ФБП); 19 – фильтры средней площади (ФСП); 20 – измеритель газового потока Honeywell; 21 – гидрозатвор; P – датчики давления; T – датчики температуры

Рисунок 1 – Схема газоаэрозольной системы установки «Расплав-3» в экспериментах серий BR-4 и BR-5

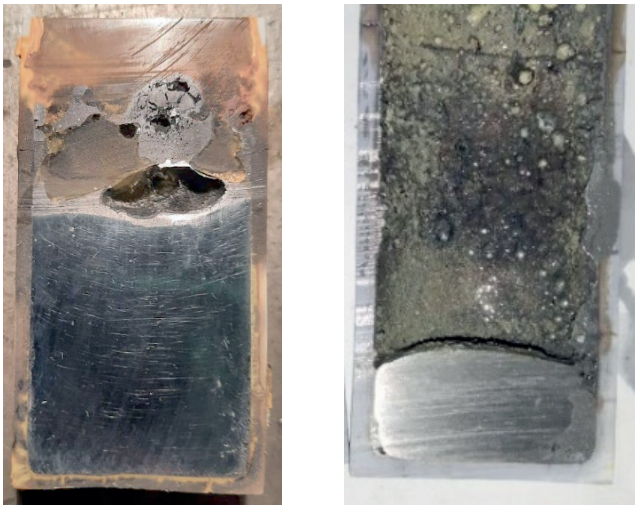
При проведении экспериментальных плавок в печи ИПХТ были выполнены следующие измерительные процедуры:

- измерение температуры поверхности и объёма ванны расплава;
- регистрация температурного состояния защитного алундового тигля;
- регистрация тепловых потоков в элементы печи;
- регистрация электрических характеристик плавителя и высокочастотного генератора;
- видеорегистрация поверхности расплава;
- отбор проб расплава, газов на пробоотборники различной конструкции или на хроматограф, аэрозолей на АФА, на ФСП и ФБП для дальнейших пост-тест исследований;
- пост-тест физико-химический анализ полученных слитков, проб расплава, аэрозолей и определение их характеристик, в т. ч. элементного состава;
- пост-тест покадровый просмотр видеопоследовательности с интегрированной меткой измерений температуры поверхности ванны расплава по результатам пирометрии.

Для достижения поставленной цели в рамках 1-го этапа было проведено два эксперимента: эксперимент BR-4(2), в котором исследовали устойчивость модельного топлива на основе UN в расплаве свинца марки в окислительной атмосфере (Ar + O_2), при прототипных условиях тяжёлой аварии РУ со свинцовым теплоносителем в диапазоне температур от 1200 °C до 1600 °C, и эксперимент BR-4(3), в котором исследовали устойчивость модельного топлива на основе UN в расплаве системы «свинец–сталь» в окислительной атмосфере (Ar + O_2) в предполагаемых условиях тяжёлой аварии РУ со свинцовым теплоносителем в диапазоне температур от 1600 °C до температуры кипения продуктов окисления компонентов исследуемой системы.

Анализ газовых проб с целью изучения деградации топливных таблеток из нитрида урана показал присутствие азота в газовой фазе, что является свидетельством деградации нитридного топлива в присутствии окислителя.

На рисунке 2 приведен вид осевых разрезов слитков, полученных в экспериментах BR-4(2) и BR-4(3).



а) б)

Рисунок 2 – Осевые разрезы алундовых тиглей со слитками, полученными в экспериментах BR-4(2) (а) и BR-4(3) (б)

Основные результаты Этапа 1:

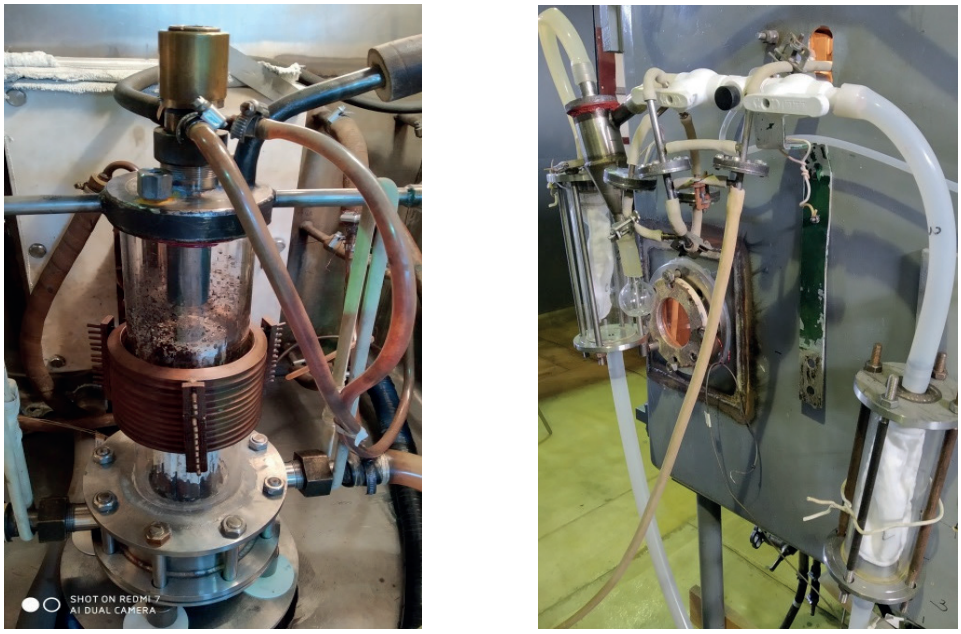
1) в условиях окислительной атмосферы в системе «теплоноситель – модельное топливо на основе нитрида урана» наблюдается деградация модельного топлива, о чем свидетельствует выделение азота в газовую фазу и микроструктурные особенности полученных слитков; при переходе к режиму кипения обнаружено всплытие таблетки модельного топлива и её последующая фиксация в образующейся корке; результаты анализа зафиксированных в корке остатков таблетки свидетельствуют об отсутствии в них нитрида урана;

2) в условиях окислительной атмосферы в системе «теплоноситель – сталь оболочки твэл – модельное топливо на основе нитрида урана» визуально не наблюдается существенной деградации формы таблетки модельного топлива, обнаруженной в придонном слое слитка; анализ газовой фазы свидетельствует о том, что дегра-

дация была максимальна в режиме интенсивного окисления расплава; экспериментально определено, что наличие стали препятствует деградации нитридного топлива в ванне расплава.

В рамках 2-го этапа работ 2021 года выполнены эксперименты BR-5(1), BR-5(2).1, BR-5(2).2, BR-5(3) и BR-5(4), ориентированные на получение новой информации и уточнение результатов, полученных в рамках экспериментальной серии BR-4, о физико-химических особенностях высокотемпературных процессов, протекающих в случае гипотетической тяжёлой аварии на РУ со свинцовым теплоносителем, в том числе по исследованию кинетики деградации модельного топлива на основе UN в расплаве свинца и в расплаве «свинец – сталь» в инертной (Ar) и окислительной (Ar + O_2) атмосфере.

Схема системы подачи газа отбора проб и сбора аэрозолей в экспериментах серии BR-5 представлена на рисунке 3.



а) б)

а) экспериментальная ячейка в сборе в защитном боксе, б) газоаэрозольная система

Рисунок 3 – Внешний вид экспериментальной установки «Расплав-3», подготовленной к проведению исследований кинетики взаимодействия модельного топлива на основе UN с расплавом свинца в инертной и окислительной атмосфере

В экспериментах серии BR-5 варьировали следующие параметры:

- газовую атмосферу (аргон с содержанием водорода 4 об. %, аргон высокой чистоты и аргон в смеси с 10 об. % кислорода);
- состав расплава (свинец, система «свинец–сталь»);
- температуру расплава (от 1200 °C до 1750 °C);
- время выдержки расплава при определенной температуре.

Для каждого из проведенных экспериментов, в которых зафиксирована деградация нитрида урана, на основании данных газового анализа и пост-тестовых исследова-

ний структуры слитка проводился расчёт объёма таблетки, претерпевшего превращение $2\ UN + 2\ O_2 \rightarrow 2\ UO_2 + N_2$. Также произведена оценка средней скорости выхода азота в проведенных экспериментах.

Основные результаты Этапа 2:

1) в инертной атмосфере деградация топлива в расплаве свинца отмечается только по достижении температуры кипения теплоносителя, а в расплаве «свинец-сталь» не наблюдается даже в условиях кипения расплава;
2) присутствие окислителя над расплавом свинца приводит к заметной деградации топлива, понижению его плотности и всплытию топливной таблетки;
3) слой стали на поверхности расплава свинца существенно понижает скорость процесса деградации топлива в окислительной атмосфере.

Полученная в рамках экспериментальных серий BR-4 и BR-5 информация об устойчивости и кинетике деградации нитридного топлива в различных условиях, а также о распределении компонентов и материалов между твердыми, жидкими и газовой фазами может быть использована в обосновании безопасности реакторов со свинцовым теплоносителем и нитридным топливом в случае гипотетической тяжёлой аварии на установках такого типа.

6.2 Экспериментальное исследование взаимодействия свинцово-висмутового теплоносителя со сталью оболочек твэлов

А.А. Сулацкий, В.И. Альмяшев, С.В. Витоль, Е.В. Крушинов, С.Ю. Котова, Е.В. Шевченко, Е.К. Каляго, В.Р. Булыгин, Е.М. Беляева, Е.Б. Шуваева, А.В. Тимчук

Основной интерес к свинцово-висмутовому теплоносителю (СВТ) обусловлен тем, что свойства эвтектики свинец-висмут такие как, низкая температура плавления, высокая температура кипения, химическая инертность, высокие теплопроводность и теплоемкость предоставляют широкие возможности выбора вариантов при проектировании реакторных установок с обеспечением внутренне присущих данному типу теплоносителя характеристик безопасности. Однако при повышенных температурах сдерживающим фактором становится коррозия оболочек твэлов и прочих конструкционных материалов.

В связи с отсутствием доступных данных в ОИТА было проведено экспериментальное исследование взаимодействия СВТ со сталью оболочек твэлов для условий аварии РУ, сопровождающихся существенным повышением температуры теплоносителя.

Экспериментальное исследование было выполнено на установке «Расплав-3» комплекса экспериментальных установок «Расплав», использующих технологию индукционной плавки в холодном тигле. Исследовано взаимодействие расплава теплоносителя со сталью оболочки твэлов на температурных уровнях ≈1190, ≈1240 и ≈1320 °C с выдержкой на каждой температурной полке в нейтральной атмосфере, а при температуре расплава ≈1120 °C – в воздушной атмосфере.

Вид рабочей ячейки установки «Расплав-3» перед экспериментом показан на рисунке 4а. Для проведения исследования были изготовлены погружные (в расплав) образцы оболочки твэлов (наружный диаметр 9,8 мм, внутренний диаметр 8,6 мм, длина образцов 30 мм), которые были приварены к штокам – трубкам из нержавеющей стали (см. рисунок 4в). Вид штоков с образцами стали оболочек твэлов показан на рисунке 4б. Металлический цилиндр в правой части Рис. 4б – свинцово-висмутовая загрузка печи общей массой 552,8 г эвтектического состава, масс. %: 44,5 Pb; 55,5 Bi. Свинцово-висмутовая загрузка помещалась в алундовый защитный тигель (внутренний диаметр тигля – 30 мм, внешний диаметр – 34 мм, высота – 90 мм), который, в свою очередь, устанавливался на керамическую подставку внутри холодного водоохлаждаемого тигля с внутренним диаметром 40 мм. Промежуток между холодным тиглем и алундовым тиглем был заполнен порошком Al_2O_3. Для контроля температуры стенок алундового тигля в засыпке из Al_2O_3 были установлены термопары типа К в нержавеющих чехлах, по показаниям которых контролировали выход на стационарный температурный режим. Температура расплава в ходе эксперимента определялась с помощью пирометра и погружной термопары типа К в сапфировом чехле.

Всего в эксперименте были испытаны 4 образца оболочечной стали. В таблице 1 приведены температура расплава СВТ, время экспозиции образцов в расплаве, атмосфера над расплавом и состояние образцов после извлечения их из расплава. Вид образцов, извлечённых из расплава, показан на рисунке 5.

а) б) в)

Рисунок 4 – Общий вид экспериментальной ячейки установки «Расплав-3» в защитном боксе (а), образцы оболочки твэлов со штоками и свинцово-висмутовая зарузка (б), образцы оболочки твэлов (в)

Таблица 1

Условия экспозиции образцов оболочечной стали в расплаве СВТ

№ об-разца	Температура расплава, °С	Экспози-ция, мин.	Атмосфера над расплавом	Состояние образца после извлечения из расплава
1	1240 (±20)	60	аргон	Толщина стенки образца на погруженном в расплав участке уменьшилась
2	1320 (±4)			Погруженная в расплав часть образца расплавилась/растворилась полностью
3	1185 (±17)	120		
4	1121 (±7)	30	воздух	Поверхность погруженной в расплав части образца покрыта шлаком

Рисунок 5 – Образцы оболочечной стали после их извлечения из расплава СВТ

После завершения эксперимента алундовый тигель со слитком был извлечен из холодного тигля и поперечно разрезан на 4 фрагмента, 3 из которых были также разрезаны вдоль их вертикальной оси (рисунок 6). Нумерация фрагментов показана на рисунке 6а. Визуально на осевом сечении 3-го и на поперечных сечениях 3-го и 4-го фрагментов слитка (рисунок 6б, г) было выявлено наличие металлического включения в общий объём свинцово-висмутового сплава. В связи с этим из 4-го фрагмента слитка были подготовлены два образца для проведения рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (РСФА). Области, которые были исследованы с помощью данного метода, показаны на 4-м фрагменте слитка белыми квадратами с соответствующими номерами (рисунок 6г). Результаты анализа представлены в таблице 2, в которой приведены также составы исходного Pb-Bi сплава и проб расплава, отбиравшихся в ходе эксперимента. Кроме этого из 1-го и 3-го фрагментов слитка были подготовлены шлифы для проведения сканирующей электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа (СЭМ/РСМА).

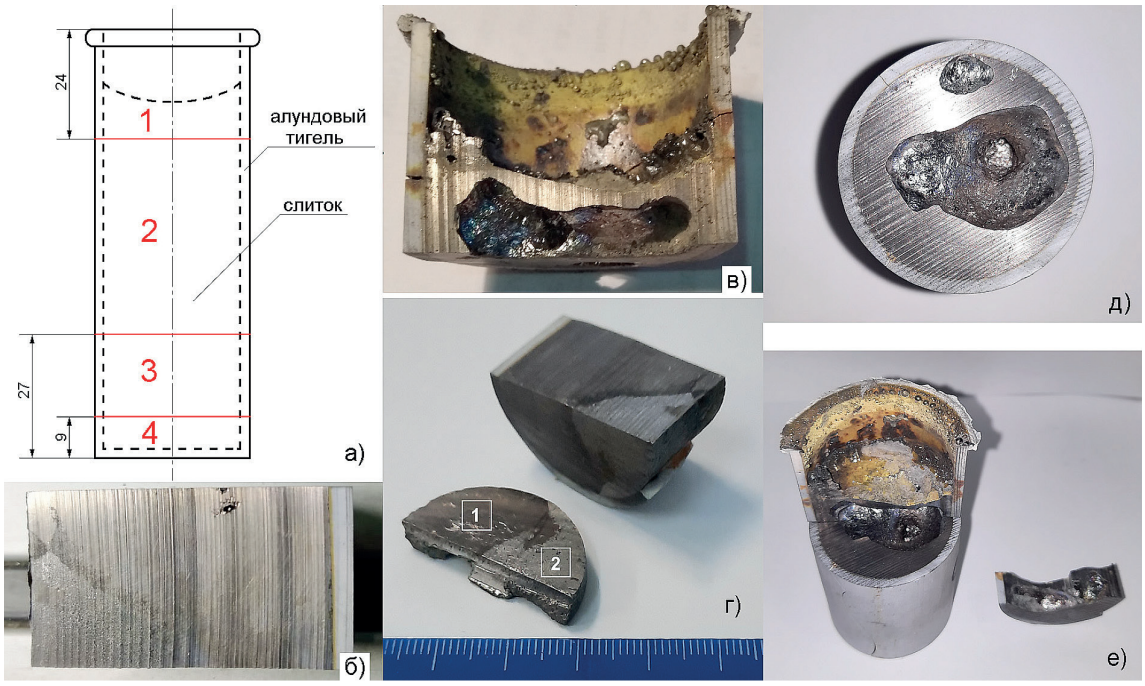


Рисунок 6 – Фрагменты слитка для проведения визуального, РСФА и СЭМ/РСМА анализов

а) схема резов и нумерация фрагментов алундового тигля со слитком;
б) осевое сечение 3-го фрагмента; в) осевое сечение 1-го фрагмента;
г) половины 3-го и 4-го фрагментов; д) вид сверху 2-го фрагмента;
е) 1-й фрагмент и половина 2-го фрагмента в сборе.

Таблица 2

Результаты РСФА исходного расплава, проб расплава и образцов слитка

Проба	Содержание, масс. %				
	Pb	Bi	Fe	Cr	Ni
Исходный Pb-Bi сплав	45,04	54,96	–	–	–
Проба расплава № 1	46,48	53,30	0,05	0,16	0,01
Проба расплава № 2	47,15	51,88	0,53	0,42	0,02
Область 1 фрагмента № 4 слитка	47,25	52,48	0,11	0,15	0,01
Область 2 фрагмента № 4 слитка	25,16	26,58	41,82	6,34	0,10

В обеих пробах расплава присутствуют компоненты стали, что согласуется с экспериментальным фактом частичного (образец стали № 1) или полного (образцы № 2 и № 3) растворения оболочечной стали в расплаве Pb-Bi на реализованных уровнях температур (таблица 2).

Важным экспериментальным фактом является обнаруженная неоднородность слитка. Область 1 (см. рисунок 6г) имеет состав, качественно близкий к составу проб расплава № 1 и № 2, отобранных непосредственно в ходе эксперимента. Тогда как в области 2 (см. рисунок 6г) компоненты стали составляют почти половину массового состава. Проведенный СЭМ/РСМА анализ показал, что область 2 сплошным образом заполнена дендритами Fe(Cr), что косвенно свидетельствует о том, что и в жидком состоянии область 2 представляла собой отдельную

от свинцово-висмутового расплава фазу. Сосуществование жидких фаз подобного состава не согласуется с имеющейся информацией о растворимости железа в свинце и висмуте в жидком и твердом состояниях. Согласно пикнометрическим измерениям, плотность слоя слитка, соответствующего свинцово-висмутовой эвтектике (область 1), составляет 10,1 (±0,1) г/см^3, тогда как плотность железосодержащего слоя (область 2) существенно меньше – ≈8,9 г/см^3. Подобное качественное соотношение плотностей должно было иметь место и при жидком состоянии соответствующих фаз, поэтому придонное положение железосодержащего включения также представляется аномальным и требует проведения дополнительных исследований.

СЭМ/РСМА анализ образцов оболочек твэлов, подвергнувшихся взаимодействию с расплавом, показал, что в стали наблюдается собирательная рекристаллизация легирующих тугоплавких компонентов стали по границам зерен на основе железа, что является прямым свидетельством деградации стали при контакте со свинцово-висмутовой эвтектикой на исследованных уровнях температур. Причем активное взаимодействие с образцами оболочки твэлов начинается при уровне температур ≈1200 °С: часовая выдержка при температуре 1240 (±20) °С привела к утонению стенки твэла с 0,5 до ≈0,1 мм, а двухчасовая экспозиция при 1185 (±17) °С и часовая при 1320 (±4) °С привели к полному растворению погруженного в расплав участка образцов оболочечной стали.

Пост-тест показал, что подача окислителя в атмосферу над расплавом на температурном уровне 1121 (±7) °С приводит к окислению как расплава, так и оболочечной стали, и к образованию смешанного оксидного слоя на её поверхности. Однако, утонение стенки образца в данном случае является не таким существенным, как в случае нейтральной атмосферы при таком же температурном уровне. Это можно предположительно объяснить или протекторными свойствами оксидных слоев, образовавшихся на поверхности образца, или пониженной температурой расплава и меньшим временем экспозиции образца в расплаве.

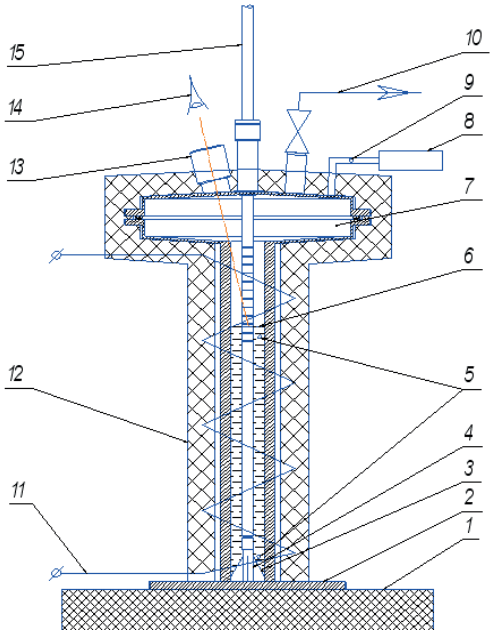
Полученные экспериментальные данные могут быть использованы для расширения баз данных по высокотемпературным физико-химическим аспектам взаимодействия материалов активной зоны при гипотетической тяжёлой аварии на РУ со свинцово-висмутовым теплоносителем и для валидации соответствующих тяжёлоаварийных кодов.

6.3 Экспериментальные исследования взаимодействия свинцово-висмутового теплоносителя с теплоносителем второго контура в аварийных режимах

А.А. Сулацкий, Е.В. Шевченко, В.И. Альмяшев, С.В. Витоль, Е.В. Крушинов, С.Ю. Котова, Е.К. Каляго, В.Р. Булыгин, Е.М. Беляева, Е.Б. Шуваева, М.В. Девяткин, А.С. Грицай

Одним из возможных сценариев тяжёлой аварии является разрыв трубопроводов второго контура теплоносителя и попадание воды в объём тяжёложидкостного металлического теплоносителя, в частности свинцово-висмутового теплоносителя (СВТ). Для исследования процессов, происходящих при введении порций воды на определенную глубину в объём СВТ, в ОИТА была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка «Расплав-СВ1».

Установка оснащена системой ввода дискретных порций воды под уровень расплава Pb-Bi эвтектики, быстродействующими датчиками давления, термопарами и системой видеорегистрации поверхности расплава теплоносителя. Схема экспериментальной ячейки установки «Расплав-СВ1» показана на рисунке 7. Установка состоит из тигельного участка, предназначенного для расплава, и расширительного объёма (поз. 7). Тигель представляет собой трубу из нержавеющей стали высотой 400 и диаметром 60 мм, соответственно, приваренную к стальному основанию (поз. 2). Плавление и нагрев расплава Pb-Bi осуществлялся джоулевым теплом с помощью ленточного нагревателя (поз. 11). Ввод порций воды осуществлялся с помощью штока (поз. 15), на нижнем торце которого размещалась свинцовая ампула с водой (поз. 4). Разрушение ампулы осуществлялось либо рассеканием о расположенное на дне ванны с расплавом стального острия (поз. 3), либо, как вариант, за счёт расплавления ампулы.



1 – подставка тефлоновая теплоэлектроизолирующая;
2 – стальное основание;
3 – стальное крестообразное острие (рассекатель);
4 – ампула свинцовая;
5 – термопары верхняя и нижняя в расплаве;
6 – уровень расплава;
7 – расширительный объём (2,55 л);
8 – датчик давления «KELLER»;
9 – термопара (тип L) для датчика давления;
10 – система сброса давления и продувки;
11 – регулируемый ленточный нагреватель;
12 – теплоизоляция;
13 – порт видеонаблюдения;
14 – блок видеонаблюдения;
15 – шток.

Рисунок 7 – Схема экспериментальной ячейки установки «Расплав-СВ1»

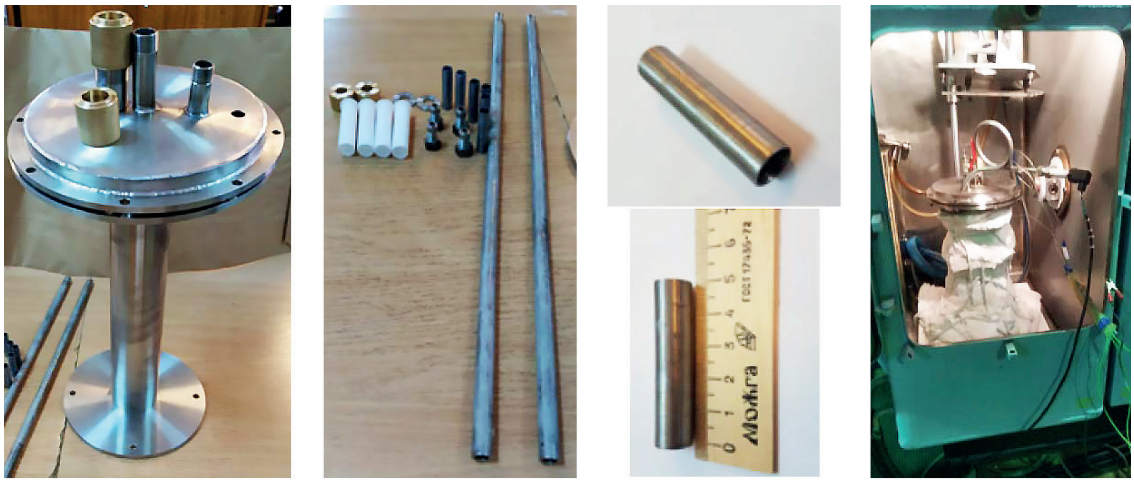
На рисунке 8 представлены экспериментальная ячейка перед установкой её в защитный бокс (рисунок 8а), штоки и прочая оснастка установки (рисунок 8б), свинцовые ампулы (рисунок 8в) и экспериментальная ячейка в сборе, но без теплоизоляции расширительного объёма и импульсной трубки к датчику давления (рисунок 8г).

Загрузка тигля представляла собой свинцово-висмутовую эвтектику (44,5 Pb + 55,5 Bi, масс. %) общей массой 8,350 кг. Атмосфера в печи – воздух. Эксперименты были проведены при температурах расплава от 250 до 350 °C.

В ходе исследований было проведено две экспериментальных серии: СВ-01 и СВ-03. В экспериментальной серии СВ-01 было использовано 16 ампул с водой: 5 ампул по 0,5 мл, 4 ампулы по 1 мл, 3 ампулы по 2 мл, 4 ампулы по 3 мл. В экспериментальной серии СВ-03 было использовано 23 ампулы: 3 ампулы по 0,5 мл, 4 ампулы по 1 мл, 8 ампул по 1,5 мл, 4 ампулы по 2 мл, 4 ампулы по 3 мл.

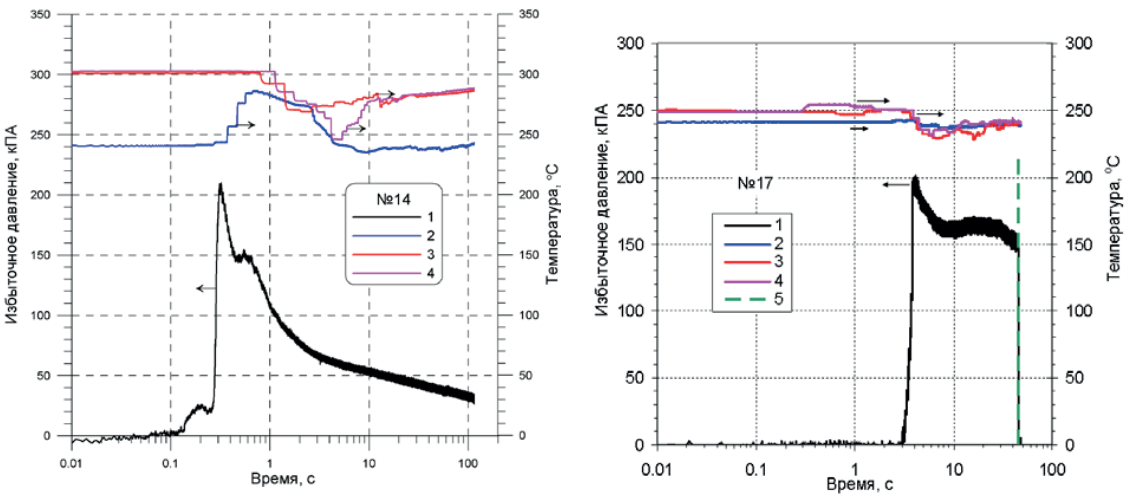
В качестве иллюстрации полученных результатов на рисунке 9 показано изменение избыточного давления и температур во время введения в расплав некоторых ампул в экспериментальных сериях СВ-01 и СВ-03. Кривые на рисунке 9 соответствуют следующим па-

раметрам: 1 (черная кривая) – изменение избыточного давления в рабочей ячейке; 2 (синяя кривая) – показания термопары типа L, размещенной приблизительно на середине высоты расширительного объёма рабочей ячейки; 3 (красная кривая) – показания термопары типа K, размещенной в расплаве на высоте 150 мм от дна ванны расплава; 4 (сиреневая кривая) – показания термопары типа K, размещенной в расплаве на высоте 252 мм от дна ванны расплава; 5 (зеленая пунктирная линия) – момент извлечения ампулы.



а) б) в) г)

Рисунок 8 – Вид экспериментальной ячейки (а), её оснастки (б) и свинцовой ампулы для порционной воды (в), ячейка в сборе (г)



а) б)

Рисунок 9 –Изменение избыточного давления и температур во время введения ампул с водой в расплав теплоносителя: а) ампула № 14 (3,0 мл) из экспериментальной серии СВ-01, б) ампула № 17 (3,0 мл) из экспериментальной серии СВ-03

Полученные в ходе экспериментального исследования результаты применимы для отладки используемых в расчётном коде «КОРСАР» математических моделей и для валидации кода.

6.4 Сцинтилляционные материалы на основе оксидной эвтектики

Е.Б. Шуваева, А.В. Тимчук, В.И. Альмяшев, Е.В. Шевченко, Е.В. Крушинов, С.А. Витоль, С.Ю. Котова, В.Р. Булыгин, Е.К. Каляго, Е.М. Беляева

Приложения рентгеновской визуализации, такие как рентгеновская фазово-контрастная радиография, маммография нового поколения и микротомография, требуют высокого пространственного разрешения с микрометровым масштабом в диапазоне энергий рентгеновского излучения от 10 до 150 кэВ. Системы формирования изображений гамма-излучения с высокой эффективностью обнаружения также важны в медицинских системах позитронной электронной томографии и однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ПЭТ/ОФЭКТ), физике высоких энергий, а также в системах неразрушающего контроля безопасности и промышленных инспекций. Высокая чувствительность может быть достигнута при использовании сцинтилляционного слоя, достаточно толстого для полного поглощения падающей энергии рентгеновского излучения. Обычные сцинтилляторы, такие как порошковые экраны Gd_2O_2S:Tb и даже столбчатые пленки CsI:Tl, снижают пространственное разрешение, поскольку увеличение толщины вызывает большее рассеяние света. Сцинтилляторы на основе $GdAlO_3$ (GAP) обладают исключительными световодными свойствами благодаря своей структуре. В настоящее время пиксели матриц фотодатчиков имеют характерный размер порядка нескольких мкм, однако объёмный материал существующих сцинтилляторов не позволяет достичь таких высоких разрешений.

Для преодоления отмеченного недостатка в качестве материала для сцинтилляторов высокого разрешения возможно использование эвтектической композиции системы Gd_2O_3–Al_2O_3, допированной ионами Ce^{3+} в качестве люминесцирующих центров (GAP/α–Al_2O_3:Ce). Материал с необходимыми параметрами микроструктуры можно получить направленным эвтектическим отверждением методом микровытягивания, заключающимся в относительно медленном вытягивании расплава через отверстие диаметром порядка сотен микрометров. Преимуществом сцинтилляционных волокон с разделенными фазами субмикронного диаметра, является совмещение свойств оптического волокна и способность преобразовывать ионизирующее излучение в фотоны. В таких волокнах испускаемые фотоны переносятся строго вдоль нитей сцинтиллятора, вследствие чего может быть достигнуто высокое пространственное разрешение вплоть до субмикронного.

Совмещение уникальных свойств оптического волокна и свойств сцинтиллятора с высоким световым выходом, высокой тормозной способностью и коротким временем высвечивания, обеспечивающих хорошее пространственное и энергетическое разрешение, открывают возможность использования данного материала для рентгеновской визуализации высокого разрешения, времяпролетной позитронно-эмиссионной томографии и систем радиометрического контроля. Вместе с тем, вопросы технологии таких материалов далеки от разрешения.

Изготовление образцов сцинтилляционного материала выполнено на установке «Расплав-4», представляющей собой индукционную печь с холодным тиглем, помещенную в защитный бокс из нержавеющей стали. Нагрев осуществлялся при помощи 5,27 МГц

ВЧ-генератора, который позволяет работать с оксидными составами с низкой электропроводностью. Схема печи представлена на рисунке 10. Изготовлен холодный тигель с внутренним диаметром 50 мм и высотой колошниковой зоны 100 мм, доработана конструкция калориметра (приварена площадка для обеспечения выравнивания фронта кристаллизации при вытягивании слитка). Схема доработанного калориметра представлена на рисунке 11. Внешний вид экспериментальной установки, подготовленной к проведению эксперимента, и её отдельных элементов показаны на рисунке 13.

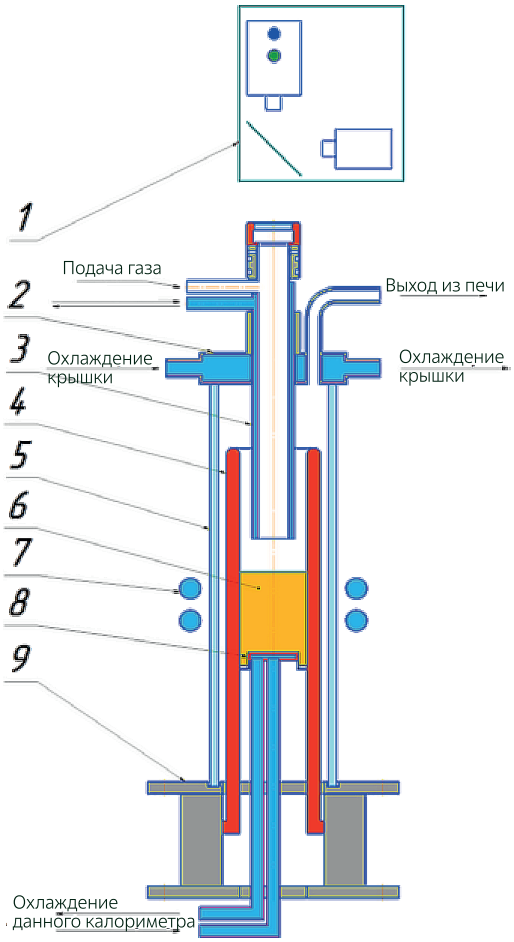


Рисунок 10 –
Схема печи установки «Расплав-4» КЭУ «Расплав»:

1 – пирометр, совмещенный с видеокамерой;
2 – водоохлаждаемая крышка печи;
3 – шахта пирометра;
4 – секции холодного тигля;
5 – кварцевая обечайка;
6 – расплав;
7 – индуктор;
8 – донный калориметр;
9 – коллектор тигля

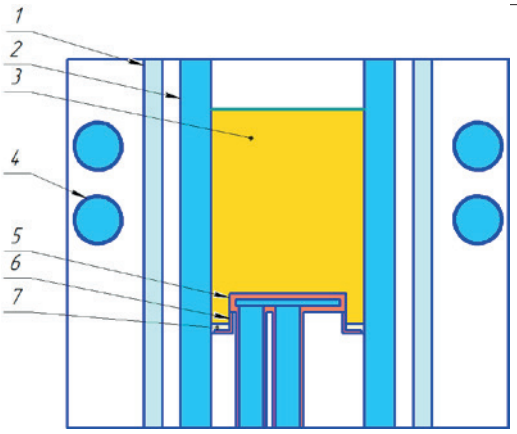
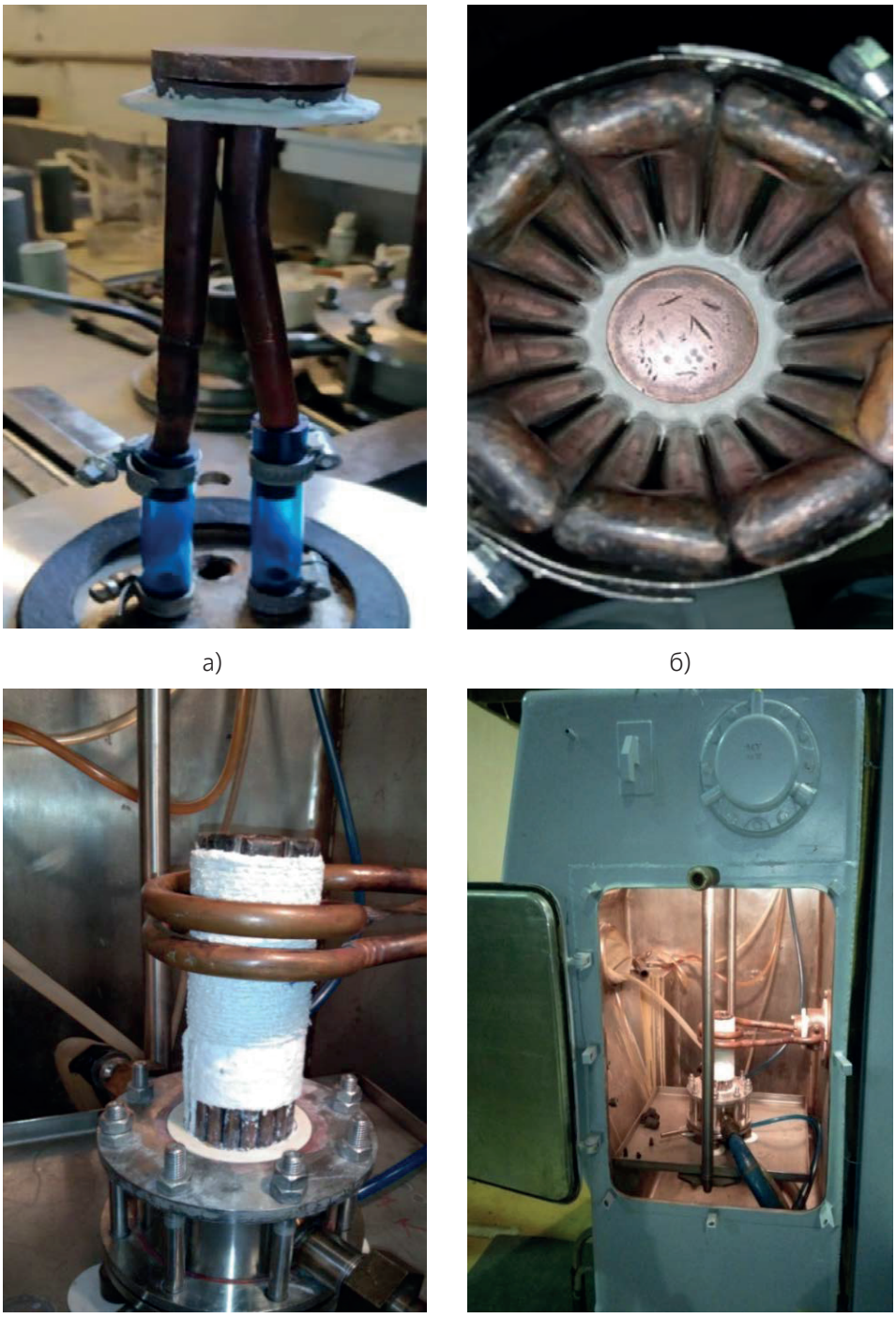


Рисунок 11 –
Схема донного калориметра, обеспечивающего выравнивание фронта кристаллизации для получения пластин сцинтилляционного материала с необходимыми микроструктурными характеристиками:
1 – кварцевая обечайка;
2 – секции холодного тигля; 3 – расплав;
4 – индуктор;
5 – донный калориметр;
6 – юбка калориметра;
7 – изолирующая обмазка



а) доработанный донный калориметр,
б) секции холодного тигля и донный калориметр вид сверху,
в) вид тигля внутри бокса, г) общий вид ячейки в защитном боксе

Рисунок 12 – Внешний вид экспериментальной установки «Расплав-4», подготовленной к проведению экспериментов по получению образцов сцинтилляционного материала

При подготовке к эксперименту все компоненты шихтового материала были проанализированы на содержание основного компонента методом рентгенофлуоресцентного анализа. Особое внимание было уделено определению содержания железа в исходных материалах шихты по причине того, что относительно высокое содержание железа в материале может негативным образом сказаться на его люминесцентных свойствах, так как известно, что ионы железа являются активными гасителями люминесценции, поэтому необходимо было минимизировать исходное содержание железа в используемых реактивах.

При подготовке к синтезу сцинтилляционного материала в 2021 году проведена следующая работа:

- подготовлена процедура эксперимента MAG-01;
- проведён анализ шихтового материала на примеси, ухудшающие его сцинтилляционные свойства;
- выполнен расчёт масс компонентов и проведена подготовка шихты к эксперименту;
- проведена подготовка плавильной печи с ИПХТ для проведения синтеза на основе экспериментальной установки «Расплав-4» комплекса экспериментальных установок «Расплав», доработана конструкция донного калориметра и изготовлен новый холодный тигель.

Работа по синтезу и исследованию свойств сцинтилляционного материала будет продолжена по следующим направлениям:

- проведение серии экспериментов по синтезу образцов сцинтилляционных материалов на комплексе экспериментальных установок «Расплав»;
- подготовка пластины образцов сцинтилляционных материалов и их полученных слитков;
- выполнение исследования состава, микроструктуры, прочностных и люминесцентных свойств синтезированных сцинтилляционных материалов;
- проведение оптимизация технологии синтеза материала для обеспечения оптимальных сцинтилляционных характеристик и пространственного разрешения детектирования рентгеновского излучения;
- выполнение испытания на медицинском рентгеновском оборудовании для определения перспектив внедрения разработанного материала.

7

7. Разработка комплексных систем управления

В.Г. Михалицын

Основные объёмы работ по направлению «Создание комплексных систем управления» выполнялись отделом разработки автоматизированных систем управления технологическими процессами (ОР АСУТП). В работах также участвовали специалисты отделения динамических исследований (ОДИ) и управления энергоснабжения (УЭС).

Выполнен ряд работ по проектированию пунктов управления АЭС «Ханхикиви-1», в том числе:

- разработаны предварительные компоновки панелей контроля и управления для блочного пункта управления (БПУ) АЭС;
- в целом завершен комплекс работ по учёту человеческого фактора в проекте АЭС на стадии технического проектирования.

Разработка компоновок панелей контроля и управления для БПУ АЭС «Ханхикиви 1» осложнялась значительными отличиями проекта АЭС «Ханхикиви 1» от референтного проекта (Ленинградской АЭС -2), связанными с внедрением дополнительных диверсных систем защиты РУ и соответствующих функций безопасности для уровня 3b ГЭЗ, а также с требованиями Инозаказчика к управлению с панелей всеми функциями безопасности, включая функции уровня 2 ГЭЗ, вспомогательные функции безопасности, функции управления при внешних воздействиях и угрозах.

При выполнении комплекса работ по учёту человеческого фактора в проекте АЭС «Ханхикиви 1» особое внимание было уделено идентификации релевантных требований EPC-контракта и нормативных документов STUK, разработке проектных руководств по учёту человеческого фактора и верификации выполнения этих требований в техническом проекте пунктов управления и технологических систем АЭС. Отдельно хотелось бы отметить создание открытой для участников проекта информационной системы, обеспечивающей хранение, обработку и отслеживание информации о выявленных в проекте проблемах, связанных с человеческим фактором, – Human Factors Engineering Issue Tracking System.

Завершено изготовление оборудования и разработка программного обеспечения системы автоматического ввода резервного источника питания (АВРИП-6кВ) ИК «Ресурс» (АВРИП Р)». Программное обеспечение разрабатывалось для реализации человеко-машинно-

го интерфейса автоматизированных рабочих мест и алгоритмов автоматики ступенчатого пуска резервных источников электроснабжения в составе промышленных контроллеров системы.

Из других важных работ, выполненных сотрудниками ОР АСУТП, необходимо отметить следующие:

- обновление концепции управления и выполнение функционального анализа АЭС «Ханхикиви-1»;
- сопровождение рассмотрения концепции управления и отчётов по функциональному анализу АЭС «Эль-Дабаа» с Инозаказчиком.

7.1 Разработка предварительных компоновок панелей управления БПУ АЭС Ханхикиви-1

М.С. Григорьев, Ю.Н. Кудицкий,
В.В. Рючин, И.Н. Сергеева, А.А. Сидорчук

В качестве основного средства управления технологическим процессом в условиях нормальной эксплуатации в проекте АЭС Ханхикиви-1 используются автоматизированные рабочие места (АРМ) с дисплейным способом управления. При нарушении нормальных условий эксплуатации основным местом контроля и управления энергоблоком с блочного пункта управления (при необходимости, после завершения времени невмешательства) являются «традиционные» панели управления.

В течение 2021 года в рамках проектирования АЭС «Ханхикиви-1» был выполнен комплекс работ по разработке предварительных компоновок мозаичных панелей управления блочного пункта управления.

Применение резервного способа управления

Особенностью деятельности оперативного персонала современных АЭС является отсутствие непосредственного контакта с технологическим оборудованием и удаленность от него, что с учётом сложности объекта управления требует передачи и обработки большого объёма информации для организации автоматизированного дистанционного контроля и управления при помощи:

- дисплейных АРМ;
- панельных секций с малогабаритными мозаичными элементами управления и контроля (далее – «мозаичные панели»);
- технических средств контроля и управления, расположенных по месту (в непосредственной близости от оборудования).

Управление по месту, как правило, используется для оборудования, используемого в период технического обслуживания и ремонта и не предназначенного для оперативного управления, и применяется для оборудования, расположенного в местах с условиями окружающей среды и доступностью, обеспечивающими возможность управления персоналом по месту.

Необходимость управления с мозаичных панелей (как резервного способа управления) обусловлена следующими факторами [1]:

- отказ систем сбора и обработки данных (например, системы верхнего блочного уровня (СВБУ), обеспечивающей работу компьютеризированных АРМ) не должен приводить к угрозе безопасности или неоправданным экономическим потерям в работе станции [2];
- согласно позиции Европейских ядерных регуляторов [3] по ограничениям по заявляемой надёжности, высокая надёжность программных средств не может быть доказана современными методами и к показателям надёжности компьютерных систем лучше, чем 10^{-4}, следует относиться с большой осторожностью, а значит требуется сочетание программируемых и непрограммируемых технических средств;
- для удовлетворения нормативных требований [4] управление системами безопасности (СБ) в зависимости от режима эксплуатации производится:
- автоматически при помощи управляющих систем безопасности (УСБ), в том числе диверсных;
- дистанционно с мозаичных панелей при отказе инициирующей части системы управления и защиты (СУЗ) и УСБ или при необходимости индивидуального управления отдельным оборудованием после истечения времени запрета на управление, возникающего при запуске соответствующей функции безопасности (ФБ);
- дистанционно с АРМ для регламентных работ (например, периодических испытаний, наладки) при нормальной эксплуатации (НЭ). При этом команды от СВБУ проходят через модули приоритетного управления, на которые также подаются сигналы от панелей управления и инициирующей части СУЗ-УСБ по проводным связям, что гарантирует выполнение защитных команд с большим приоритетом.

Непосредственно отказ СВБУ не вызывает отклонений технологических параметров, но приводит к потере нерезервированных функций дистанционного контроля и управления оборудованием.

Организация БПУ

БПУ предназначен для обеспечения эффективного и безопасного централизованного автоматизированного управления оборудованием систем НЭ (включая контроль эксплуатационных пределов и условий), СБ и специальными техническими средствами управления запроектными авариями (ЗПА) при НЭ и нарушениях нормальных условий эксплуатации (ННУЭ), включая аварии [4].

В принятой организации АРМ, мозаичных панелей и экрана коллективного пользования (ЭКП), а также в объёме возможностей, представляемых системой контроля и управления, для всех режимов эксплуатации образуются различные зоны контроля и управления. Компоновка БПУ представлена на рисунке 1.

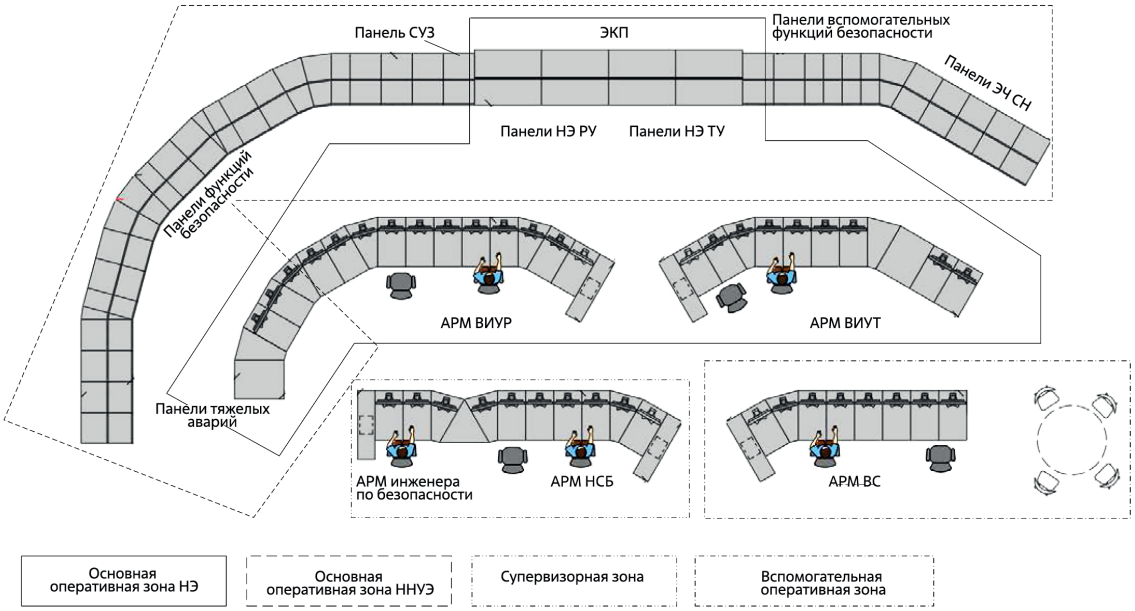


Рисунок 1– Компоновка БПУ

Основная оперативная зона для НЭ предназначена для:

- контроля и управления основным оборудованием реакторной установки (РУ) и турбинной установки (ТУ), предназначенным для надежной выработки электроэнергии;
- контроля безопасности;
- информационной поддержки персонала.

Основная оперативная зона для ННУЭ предназначена для:

- контроля и управления минимально необходимым объёмом оборудования НЭ РУ, ТУ и электроснабжения собственных нужд при переводе энергоблока в состояние «Холодный останов» при полном отказе средств основной оперативной зоны управления и возникновении переходных режимов или невозможности восстановления СВБУ в течение установленного периода времени (как правило, 2 часов при условии поддержания стационарного режима и введении запрета на технологические переключения);
- контроля выполнения защитных программ ФБ и их резервного дистанционного запуска при отказе автоматического запуска;
- индивидуального управления оборудованием СБ, задействованного при работе ФБ, в связи с наличием приоритетов различных способов управления (низкий приоритет дистанционного автоматизированного управления с АРМ по сравнению с высоким приоритетом команд УСБ и команд от мозаичных панелей), а также исходя из организационно-технических ограничений при работе в условиях ННУЭ после завершения времени невмешательства, обеспечиваемого УСБ.

Основная оперативная зона для ННУЭ включает АРМ спецсистем, ЭКП и мозаичные панели.

Супервизорная зона предназначена для контроля НЭ и безопасности начальником смены блока и инженером по безопасности совместно с оперативным персоналом БПУ.

Вспомогательная оперативная зона предназначена для контроля и управления

вспомогательным оборудованием РУ и ТУ.

Компоновка БПУ является несимметричной относительно центральной оси и включает (слева направо):

- панели безопасности уровня 4 глубокоэшелонированной защиты (ГЭЗ) – панели тяжёлых аварий, которые предназначены для отображения сигнализации об угрозе повреждения активной зоны, о наступлении условий выхода расплава за пределы реактора, о необходимости управляющих действий персонала для локализации аварии и снижения последствий аварии, для выполнения операций по снижению давления в первом контуре, по подаче воды из шахты ревизии ВКУ для охлаждения корпуса реактора и корпуса УЛР, для уменьшения уровня радиоактивности в ГО, для мониторинга параметров безопасности водорода, для обеспечения отвода тепла от ГО, для запуска внеплощадочного дизеля, для подача охлаждающей воды для подпитки баков СПОТ ПГ от систем АЭС и от стороннего источника;
- панели управления диверсными функциями безопасности уровня 3b ГЭЗ, которые являются средством приведения АЭС в безопасное состояние дополнительными системами и оборудованием при отказе оборудования СБ;
- панели управления функциями безопасности уровня 3a ГЭЗ, которые являются основным средством управления и контроля при проектных авариях и предназначены для размещения средств управления и контроля функций безопасности и оборудования, используемого для приведения АЭС в безопасное состояние;
- панель управления и защиты реактора, которая предназначена для отображения сигнализации о формировании условий срабатывания защиты реактора в каждом комплекте, индикации положения 12 групп ОР СУЗ по зонам, индикации нейтронно- физических параметров реакторной установки (мощности, периода и реактивности), инициализации аварийной защиты реактора, а также для управления режимами скользящей уставки и режимами расхолаживания, отображения оптико-акустической сигнализации контроля процесса перегрузки (тональность звукового сигнала которой пропорциональна значению плотности нейтронного потока), контроля готовности и периодической проверки функций системы управления и защиты;
- панели управления оборудованием НЭ РУ с минимально необходимым оборудованием для управления переводом энергоблока в «Холодное состояние» при полном отказе «дисплейных» средств управления;
- панели управления оборудованием ТУ для управления оборудованием конденсатно-питательного тракта, байпаса турбины, свежего пара и останова турбины для управления переводом энергоблока в «Холодное состояние» при полном отказе «дисплейных» средств управления;
- панели предварительных защит и управления при работе с ограничениями в условиях уровня 2 ГЭЗ, которые предназначены для отображения сигнализации о наступлении исходных событий ННУЭ, о действии предупредительных защит и запуска соответствующих ФБ, а также для контроля состояния и управление оборудованием, которое решает задачи ФБ уровня 2 ГЭЗ;
- панели вспомогательных функций безопасности (функции вентиляции, электроснабжения и т.п.);
- панели управления при внешних воздействиях и угрозах (пожарах, затоплениях, землетрясениях, техногенных явлениях и т.п.);
- панели электрической части собственных нужд и выдачи мощности.

Основные отличия от референтного проекта связаны с внедрением дополнительных диверсных систем и соответствующих функций безопасности уровня 3b ГЭЗ, а также необходимостью размещения на панелях элементов управления и контроля для всех идентифицированных функций безопасности, включая функции уровня 2 ГЭЗ, вспомогательные функции, функции управления при внешних воздействиях и угрозах, для которых в референотом проекте не было предусмотрено требований по управлению и контролю в условиях отказа дисплейных средств.

Организация мозаичных панелей

Для панелей используются следующие конструктивы:

- секции с консолью – 720×2200 мм и 432×2200 мм;
- секции «рояльного» типа – 1550×1600 мм для размещения панелей НЭ (под ЭКП).

В ячейки панелей устанавливаются малогабаритные (25x50 мм, 25x100 мм, 50x50 мм, 50x100 мм, 100x100 мм) табло, приборы и динамические элементы сигнализации и управления. Таким образом, рабочее поле набирается, как мозаика, из небольших стандартных элементов. Часть мозаичных ячеек панелей заполняются мнемоническими символами («линиями» трубопроводов, изображениями оборудования и т.п.) и текстовыми надписями (надписи на табло представляют собой краткое текстовое сообщение, позволяющее идентифицировать событие или отклонение).

Предварительная компоновка панелей БПУ выполнена на основании исходных данных по функциям НЭ и функциям безопасности, технологическим системам с учётом решений референтной АЭС (Ленинградской АЭС-2). Общий подход к компоновочным решениям представлены на рисунке 2.

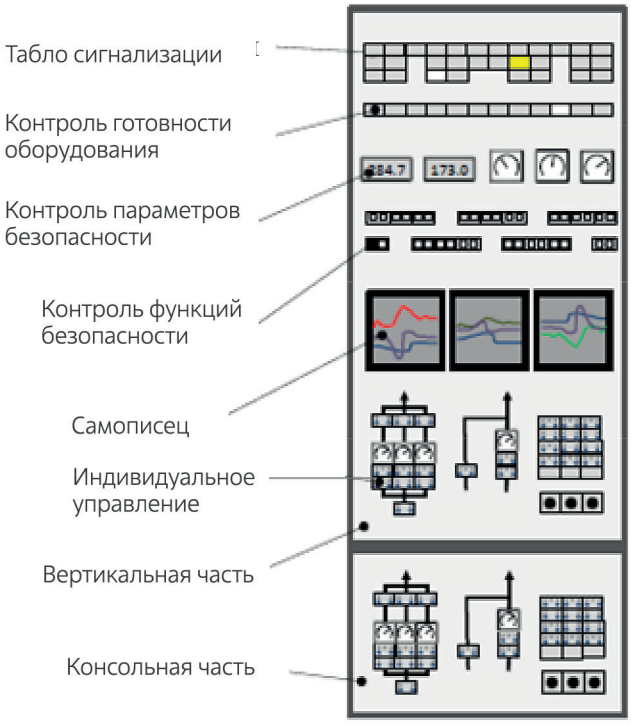


Рисунок 2 – Компоновка мозаичных панелей

Кроме того, панели содержат кнопки:

- подтверждения команды;
- тестирования ламп и звука;
- квитирования;
- сброса ламп (снятия памяти при условии отсутствия сигналов формирования ПИС);
- снятия звука.

Следует отметить, что предусмотрен как минимум двухступенчатый алгоритм ввода управляющих воздействий:

- на АРМ – последовательной активацией рабочего окна оборудования, выбором команды управления (например, открыть/закрыть) и подтверждением команды на исполнение;
- на панелях – одновременным нажатием кнопки выбора команды на мозаичном элементе и кнопки подтверждения, расположенной в нижнем углу панели (либо за счёт использования ключей или кнопок с крышками).

Выполнение дополнительных действий по активации и закрытию окон, заданию и подтверждению команд (манипулированию виртуальными и физическими (на панелях) кнопками) и другими действиями, непосредственно связанными с управлением технологическим процессом (т.е. «первичной» деятельностью), увеличивает объём деятельности оператора, но предотвращает ошибочные непреднамеренные действия операторов.

Заключение

Предварительная компоновка панелей выполнялась с целью оценки возможности размещения на панелях приборов контроля и управления для всех контролируемых и управляемых объектов (параметров, оборудования), определенных в исходных данных:

- архитектуре пунктов управления;
- предварительных внутренних технических заданиях на автоматизацию – проектных баз данных оборудования и параметров.

Предварительная компоновка выполнялась с учётом:

- требований эргономических требований нормативных и проектных документов,
- требований Инозаказчика в части необходимого резерва места на панелях для будущих модификаций в процессе эксплуатации;
- необходимости размещения на панелях дополнительных приборов контроля и управления для диагностики и тестирования СКУ.

Полученные в результате структура и состав аппаратно-реализованных мозаичных панелей, физически, гальванически и функционально отделенных от дисплейного ЧМИ, позволяют контролировать состояние параметров безопасности и состояние оборудования, влияющего на основной технологический процесс и на безопасность блока, а также управлять оборудованием СБ при отказе их автоматического запуска или после истечения времени запрета на управление после запуска на одном информационном поле при полном отказе средств дисплейного управления или переходе к нарушениям условий нормальной эксплуатации.

Литература

1. ***М.С. Григорьев*** Особенности резервного управления, реализованного для оперативного персонала Белорусской АЭС / М.С. Григорьев, Маслова К.А., Сергеева И.Н // Материалы II Международной научно-технической конференции «Автоматизированные системы управления технологическими процессами АЭС и ТЭС», Минск, 2021. – С. 16–22.
2. IEC 60964:2009 Nuclear Power Plants – Control Rooms – Design.
3. Licensing of safety critical software for nuclear reactors. Common position of international nuclear regulators and authorized technical support organizations. Revision 2015.
4. НП-001-15 Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций».

7.2 Комплекс работ по учёту человеческого фактора в проекте АЭС «Ханхикиви-1» на стадии технического проектирования

С.В. Батанина, М.С. Григорьев, Л.Е. Карпова, К.А. Маслова, В.Г. Михалицын, В.В. Рючин, И.Н. Сергеева

В рамках договора на выполнение роли Менеджера по учёту человеческого фактора в проекте сооружения атомной электростанции (АЭС) «Ханхикиви-1» на стадии технического проектирования специалистами отдела разработки автоматизированных систем управления технологическими процессами (ОР АСУ ТП) выполнялись следующие виды работ:

- идентификация и анализ требований по учёту человеческого фактора (УЧФ) при проектировании, представленных в EPC-Контракте на сооружение АЭС «Ханхикиви-1» и нормативных руководствах по ядерной безопасности YVL, обновленных Центром ядерной и радиационной безопасности Финляндии STUK, с последующим участием в распределении требований между проектными дисциплинами и организациями-участниками проекта;
- разработка проектных руководств по учёту человеческого фактора при проектировании технологических систем и зданий АЭС, а также человеко-машинного интерфейса пунктов управления АЭС;
- верификация процессов проектирования и технических проектов систем, зданий и пунктов управления АЭС.

Ценность данных работ заключается в уникальном опыте организации работ и разработки проектных документов в соответствии с требованиями международной и финской нормативной документации в области учёта человеческого фактора с целью получения лицензии на сооружение АЭС «Ханхикиви-1».

Деятельность по УЧФ интегрируется с процессами проектирования и жизненными циклами проектных дисциплин на основе применения двух основных подходов:

- подход, ориентированный на участие экспертов УЧФ;
- подход, ориентированный на применение проектных руководств.

Подход, ориентированный на применении проектных руководств по учёту человеческого фактора, состоит в разработке руководящих принципов УЧФ, их применении, последующей проверке их полного и правильного внедрения. Разработанные и применяемые проектные руководства УЧФ содержат принципы, правила, требования и рекомендации, полученные из результатов анализов УЧФ, и служат входными данными для проектирования технологических систем, зданий и пунктов управления АЭС, а также при проектировании ЧМИ, последующей разработке инструкций по эксплуатации и техническому обслуживанию, разработке программ обучения персонала станции.

Подход, ориентированный на участие экспертов, основывается на том, что эксперты УЧФ напрямую взаимодействуют с инженерам-проектировщикам других проектных дисциплин на всех этапах проектирования и строительства и инициируют, рекомендуют и обеспечивают решение проблем, выявленных при внедрении руководящих принципов УЧФ.

Общая схема взаимосвязей процесса УЧФ с процессами других проектных дисциплин проектирования и сооружения АЭС представлена на Рисунке 1.

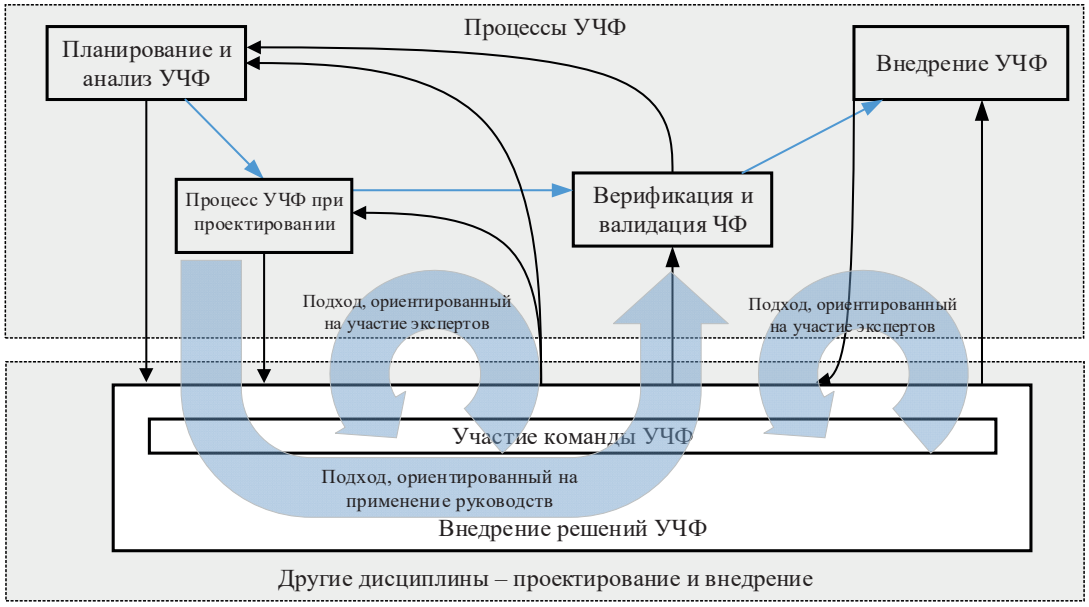


Рисунок 1 – Блок-схема взаимодействия процесса УЧФ
с процессами других проектных дисциплин

При выполнении комплекса работ по учёту человеческого фактора в проекте АЭС «Ханхикиви 1» особое внимание было уделено идентификации и последующему анализу релевантных требований EPC-Контракта и нормативных руководств по ядерной безопасности YVL. Специалисты ОР АСУ ТП участвовали в качестве экспертов УЧФ в ряде совещаний по распределению выявленных требований УЧФ между проектными дисциплинами и организациями-участниками проекта АЭС «Ханхикиви-1» для дальнейшего учёта при выполнении проектных работ.

Часть требований УЧФ была распределена в зону ответственности ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» как организации, выполняющей роль Менеджера УЧФ в проекте АЭС, и учтена при разработке проектного руководства по учёту человеческого фактора при проекти-

ровании технологических систем и зданий АЭС и проектного руководства по учёту человеческого фактора при проектировании человеко-машинного интерфейса пунктов управления АЭС.

В рамках формирования требований и рекомендаций УЧФ, включённых в разработанные руководства, а также с целью последующей проверки выполнения вышеупомянутых требований и рекомендаций в проекте специалистами ОР АСУ ТП были выполнены следующие задачи:

- анализ опыта эксплуатации АЭС в части учёта человеческого фактора;
- рассмотрение результатов анализа функций и распределения функций контроля, управления средств автоматизации и/или персонала АЭС;
- учёт релевантных требований EPC-Контракта и нормативных руководств по ядерной безопасности (YVL) при разработке проектных руководств;
- разработка чек-листов для проверки процессов проектирования и проектов технологических систем и зданий на соответствие требованиям и рекомендация УЧФ, изложенным в проектных руководствах по УЧФ.

Обзор опыта эксплуатации АЭС в области УЧФ заключался в анализе международных документов и отчётов по опыту эксплуатации, а также результатов интервью с эксплуатационным персоналом Ленинградской АЭС-2. При поддержке Генерального проектировщика (АО «Атомэнергопроект») на ЛАЭС-2 было организовано интервью с операторами пунктов управления и административно-техническим персоналом станции. Интервью проводилось специалистами ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» с участием сотрудников Генерального проектировщика. Результаты интервью были рассмотрены и учтены при разработке проектных руководств УЧФ.

Требования, правила и рекомендации, изложенные в разработанных руководствах УЧФ, учитывались при проектировании систем и пунктов управления АЭС с целью обеспечения эффективной и безопасной деятельности персонала пунктов управления АЭС, предотвращения, обнаружения и исправления ошибок при выполнении персоналом АЭС операций по эксплуатации и техническому обслуживанию систем и оборудования АЭС на всей территории станции.

Руководства УЧФ использовались разработчиками технологических систем и зданий для учёта при разработке технической документации и исходных технических требований для изготовления и поставки оборудования АЭС.

В рамках работ по верификации проекта АЭС на этапе технического проектирования специалисты ОР АСУ ТП оценивали соответствие процессов проектирования и проектной технической документации требованиям УЧФ, представленным в нормативных руководствах YVL, EPC-Контракте, руководстве УЧФ по проектированию систем и зданий АЭС, а также в руководстве УЧФ по проектированию человеко-машинного интерфейса пунктов управления.

По результатам верификации выполнения этих требований в техническом проекте пунктов управления и технологических систем АЭС разрабатывались верификационные отчёты с описанием методологии, используемой экспертами УЧФ, и полученными результатами проверки. Выявленные по результатам верификации проекта несоответствия и проблемы, связанные с учётом человеческого фактора, и рекомендации экспертов УЧФ по их возможному решению и устранению были задокументированы в данных отчётах.

Помимо верификационных отчётов обнаруженные несоответствия регистрировались в открытой для участников проекта информационной системе, обеспечивающей хранение,

обработку и отслеживание информации о выявленных в проекте проблемах, связанных с человеческим фактором – Human Factors Engineering Issue Tracking System. Данная система была создана и введена в эксплуатацию в рамках реализации проекта АЭС «Ханхикиви-1» специалистами ОР АСУ ТП с привлечением технических специалистов ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». В рамках выполнения роли Менеджера УЧФ на этапе технического проектирования с помощью этой системы был реализован процесс управления обнаруженными проблемами и несоответствиями по учёту человеческого фактора.

В качестве Менеджера УЧФ в проекте АЭС «Ханхикиви-1» ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» успешно выполнил комплекс работ по учёту человеческого фактора на стадии технического проектирования в соответствии с международным стандартами и нормативными руководствами по ядерной безопасности Финляндии.

Уникальный опыт, полученный в работах по АЭС «Ханхикиви-1» в области учёта человеческого фактора при проектировании планируется использовать в работах по другим АЭС, сооружаемым за рубежом.

7.3 Создание системы отслеживания проблем учёта человеческого фактора на этапах жизненного цикла АЭС

В.С. Батанин, М.Е. Викторов, Л.Е. Карпова, В.А. Кугаппи, К.А. Маслова, В.Г. Михалицын

В 2021 году в рамках реализации проекта АЭС «Ханхикиви-1» (далее – Проект) была создана и введена в эксплуатацию система отслеживания проблем учёта человеческого фактора (далее – УЧФ) при проектировании, осуществлялось её сопровождение.

Система отслеживания проблем УЧФ (далее – HFE ITS) – это централизованная база данных, содержащая основную информацию о проблемах, этапах их «жизненного цикла» и мероприятиях, выполняемых для решения проблем, и поддерживающая удаленный доступ пользователей к этой информации на основе распределения прав доступа.

Основная информация о проблеме включает номер, наименование проблемы, организацию – инициатора проблемы, ссылку на документ, на основании которого инициирована проблема, краткое описание проблемы, ссылку на документ (номер, дата и название документа) с подробным описанием, соответствующий элемент программы УЧФ, систему АЭС, здание АЭС или АЭС в целом, ссылки на связанные проблемы и другие данные.

Информация о этапах «жизненного цикла» включает статус проблемы, дату открытия проблемы, организацию, ответственную за выработку рекомендации по решению проблемы, рекомендации по решению проблемы, организацию, ответственную за решение проблемы, дату закрытия проблемы, ссылки на соответствующие документы с детальной информацией и другие данные.

Информация об мероприятиях, выполняемых для решения проблемы, представлена индивидуально для каждого мероприятия и включает описание мероприятия, ответственную

организацию, текущий статус мероприятия (запланировано, выполняется, приостановлено, завершено, отменено), дату завершения и другие данные.

С помощью HFE ITS реализуется процесс управления проблемами, связанными с учётом человеческого фактора на этапах технического проектирования, рабочей документации, изготовления, монтажа и ввода в эксплуатацию АЭС.

С целью создания HFE ITS предварительно были сформулированы и согласованы с Заказчиком требования, предъявляемые к функциональным возможностям HFE ITS – это контекстный поиск, фильтрация данных, работа с данными по отдельной проблеме или одновременно по нескольким проблемам в режиме таблицы/таблиц, выгрузка хранящихся данных в виде электронных таблиц (по выбранной проблеме, по заданной группе проблем, по всем проблемам), загрузка основной информации о проблемах из файлов электронных таблиц.

При создании HFE ITS были выбраны, установлены и настроены программные средства, обеспечивающие функционирование системы: Redmine – для реализации функций HFE ITS, MySQL – для хранения и обработки информации о проблемах УЧФ; VMware ESXi – для работы с виртуальными машинами, Mikrotik Cloud Hosted Router – для организации VPN-подключения, операционная система Microsoft Windows 10 Pro и средство антивирусной защиты Kaspersky Endpoint Security.

HFE ITS реализована в виде виртуальной ПЭВМ в формате VMware. Такой вариант реализации наиболее предпочтителен с точки зрения эксплуатации системы: упрощаются вопросы настройки, переноса с одного вычислительного ресурса на другой (при необходимости), резервного сохранения системы и передачи БД HFE ITS Владельцу АЭС после ввода энергоблока в эксплуатацию.

В процессе ввода в эксплуатацию HFE ITS были выполнены индивидуальные настройки системы: задан адрес доступа из сети Интернет, отредактированы роли для проекта, включена автоматическая отправка оповещений.

Для доступа к HFE ITS из сети Интернет системе был назначен адрес http://hfe.niti.ru, по которому осуществляется переход на домашнюю страницу системы, представленную на рисунке 1. Доступ к HFE ITS осуществляется через VPN-соединение по L2TP с общим ключом и логином/паролем.

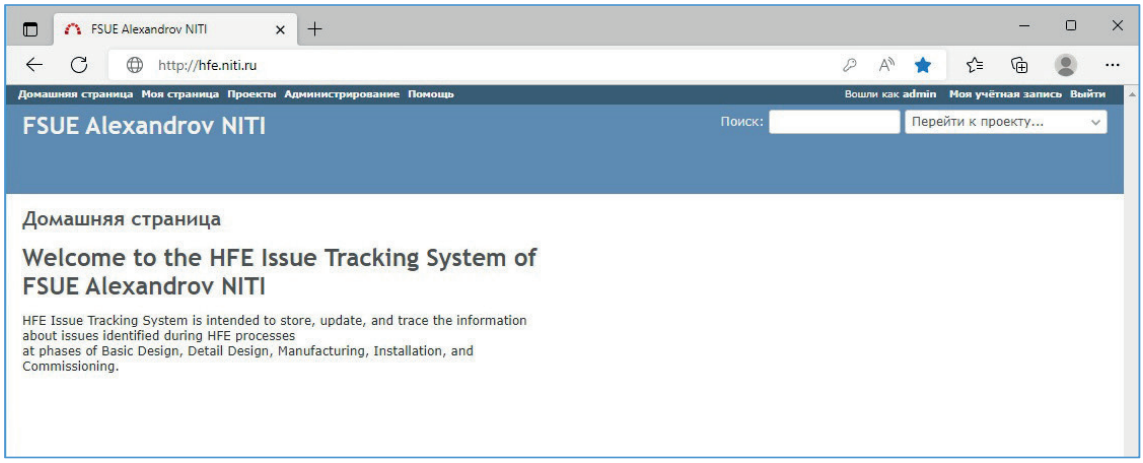


Рисунок 1 – Домашняя страница HFE ITS

Каждый участник проекта имеет одну или несколько ролей для проекта. Роль - это набор разрешений по доступу к данным и функциям системы. Роль позволяет определить разрешения, которыми обладают участники проекта. Если участник имеет несколько ролей в проекте, разрешения, применяемые к нему, представляют собой комбинацию разрешений всех ролей.

В системе отслеживания проблем УЧФ используются роли Developer, Manager, User, Observer (представлены на рисунке 2). Анонимный доступ к системе не предоставляется, так как создание общедоступных проектов не предполагается.

Для каждой роли могут быть заданы индивидуальные разрешения: на работу с проектом (создание, редактирование, управление участниками, выбор модулей); на управление форумами, документами, файлами, категориями задач, новостями, хранилищем; на учёт затраченного времени. Пользователям из сторонних организаций доступ к HFE ITS предоставлялся только с ролью Observer (Наблюдатель), которая позволяет просматривать всю информацию о зарегистрированных проблемах и, при необходимости, оставлять комментарии.

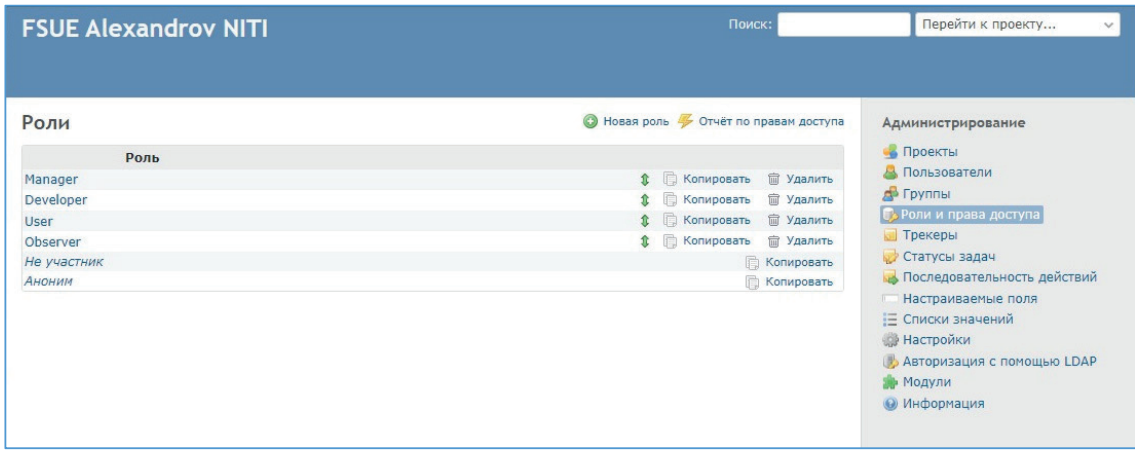


Рисунок 2 – Роли в системе отслеживания проблем УЧФ

С целью оповещения пользователей HFE ITS о происходящих изменениях в зарегистрированных проблемах в системе была настроена автоматическая отправка оповещений. Для каждой учётной записи в HFE ITS по умолчанию включена автоматическая отправка оповещений, но пользователи системы могут самостоятельно в настройках своей учётной записи отключить автоматическое получение оповещений. Для отправки оповещений, а также для взаимодействия с пользователями системы по различным вопросам, связанным с работой в HFE ITS, на почтовом сервере ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» был создан служебный почтовый адрес hfe-its@niti.ru.

Для учёта проблем, выявленных при реализации проекта АЭС «Ханхикиви-1», в HFE ITS был создан проект «Hanhikivi-1 NPP», домашняя страница которого представлена на рисунке 3.

Каждая проблема, зарегистрированная в проекте «Hanhikivi-1 NPP», описывается набором полей, представленным на рисунке 4. Поля содержат основную информацию о проблеме, этапах её «жизненного цикла» и мероприятиях, выполненных для решения проблемы. Каждое поле было индивидуально настроено под тип хранимой в нем информации.

В реализации проекта АЭС «Ханхикиви-1» принимают участие иностранные специалисты, в связи с этим основным языком взаимодействия между участниками Проекта выбран английский язык. Проект «Hanhikivi-1 NPP» полностью ведется на английском языке. Для участников проекта АЭС «Ханхикиви-1», испытывающих затруднения с английским языком, в HFE ITS предусмотрена возможность переключения интерфейса системы на русский язык.

По заявкам организаций–участников проекта АЭС «Ханхикиви-1» в HFE ITS были созданы учётные записи пользователей. Каждой учётной записи пользователя была назначена соответствующая роль и предоставлен доступ к проекту «Hanhikivi-1 NPP». Предоставление доступа к HFE ITS осуществлялось в соответствии с документом «Процедура по управлению проблемами УЧФ».

До начала эксплуатации HFE ITS была разработана инструкция по настройке VPN-подключения на русском и английском языках. В целях обеспечения безопасности при первом входе в систему пользователь должен был сменить временный пароль на постоянный. Требования к длине и сложности пароля содержались в письме электронной почты.

В процессе работы с проектом «Hanhikivi-1 NPP» осуществлялась регистрация проблем на основании запросов со стороны инициаторов на регистрацию. В HFE ITS регистрировались проблемы УЧФ, выявленные при анализах УЧФ, в результате верификации проекта с точки зрения УЧФ или выявленные по результатам обзора прошлого опыта эксплуатации. Для инициирования проблемы был разработан шаблон, который заполняют инициаторы и направляют по адресу электронной почты hfe-its@niti.ru. Поступившие запросы обрабатываются, и на их основе в HFE ITS регистрируются выявленные проблемы. Дополнительно в проект «Hanhikivi-1 NPP» были занесены проблемы, выявленные и документально зафиксированные в Проекте до создания HFE ITS. Для каждой проблемы (HFE Issue), зарегистрированной в проекте «Hanhikivi-1 NPP, были назначены действия (Actions) по их устранению.

Полученный практический опыт использования HFE ITS для учёта и решения проблем УЧФ, выявленных при реализации проекта АЭС «Ханхикиви-1», планируется применить и для других проектов сооружения АЭС: Тяньваньской АЭС (Блоки 7 и 8) и АЭС «Сюйдапу» (Блоки 3 и 4).

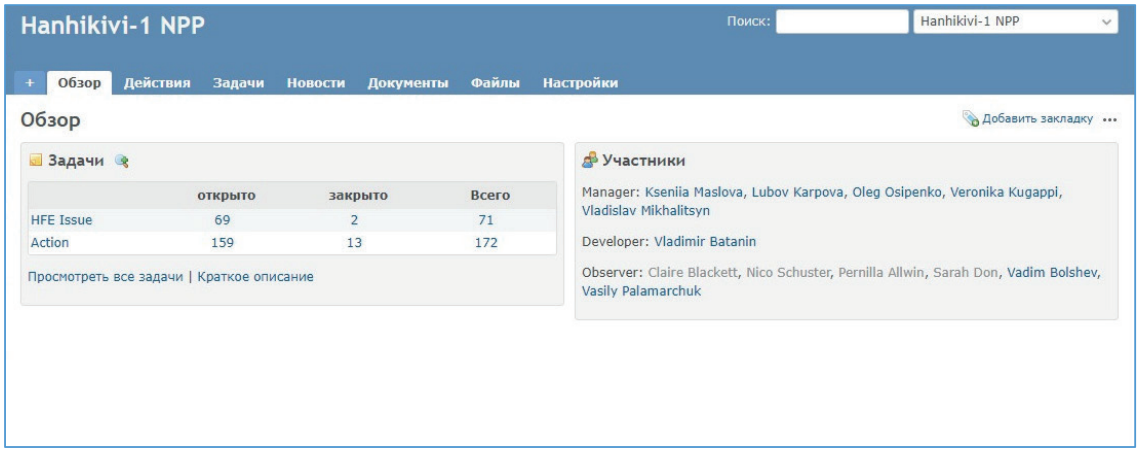


Рисунок 3 – Домашняя страница проекта «Hanhikivi-1 NPP»

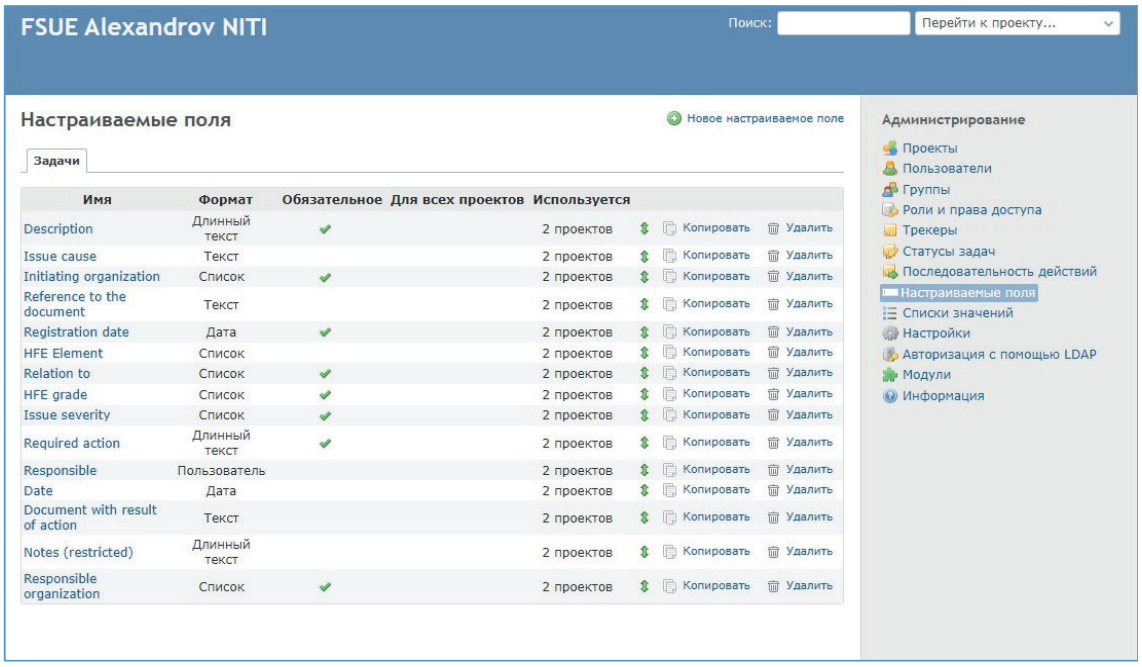


Рисунок 4 – Перечень полей, описывающих проблему

7.4 Создание системы автоматического ввода источников резервного питания 6 кВ РДЭС двух каналов аварийного электроснабжения ИК «Ресурс»

С.В. Васильев, А.Т. Маликов, А.А. Сидорчук, Г.М. Хасанова, Е.В. Чабан, А.А. Чертков

В 2021 году специалистами отдела главного конструктора (в настоящее время ОР АСУ ТП) были завершены работы по разработке программного обеспечения и изготовлению оборудования системы автоматического ввода резервного источника питания (АВРИП-6кВ) ИК «Ресурс» (АВРИП-Р)».

Целью создания системы АВРИП-Р является обеспечение электроснабжения ИК «Ресурс» при перерыве питания в сети внешнего электроснабжения.

Система АВРИП-Р предназначена для автоматического ввода в работу резервного источника питания 6кВ РДЭС (АВРИП) двух каналов системы аварийного электроснабжения (САЭ) для обеспечения работы ИК «Ресурс» при перерыве питания в сети внешнего электроснабжения.

По проекту функции системы АВРИП-Р разделены на основные, направленные на достижение целей функционирования системы, и обеспечивающие, направленные на обеспечение реализации основных функций (информационные, управляющие и вспомогательные).

Основные функции системы АВРИП-Р включают:

- автоматический ввод источников резервного питания 6 кВ при перерыве питания в сети внешнего электроснабжения:
  - автоматический запуск дизель-генератора;
  - автоматическая реализация ступенчатого пуска электротехнического оборудования секций;
- перевод системы АВРИП в основной режим работы (обеспечение взаимоисключающей работы систем АВРИП различных стендов);
- функции контроля состояния системы АВРИП-Р (самодиагностика).

На основе анализа функций, была разработана структура АВРИП-Р (см. рисунок 1).

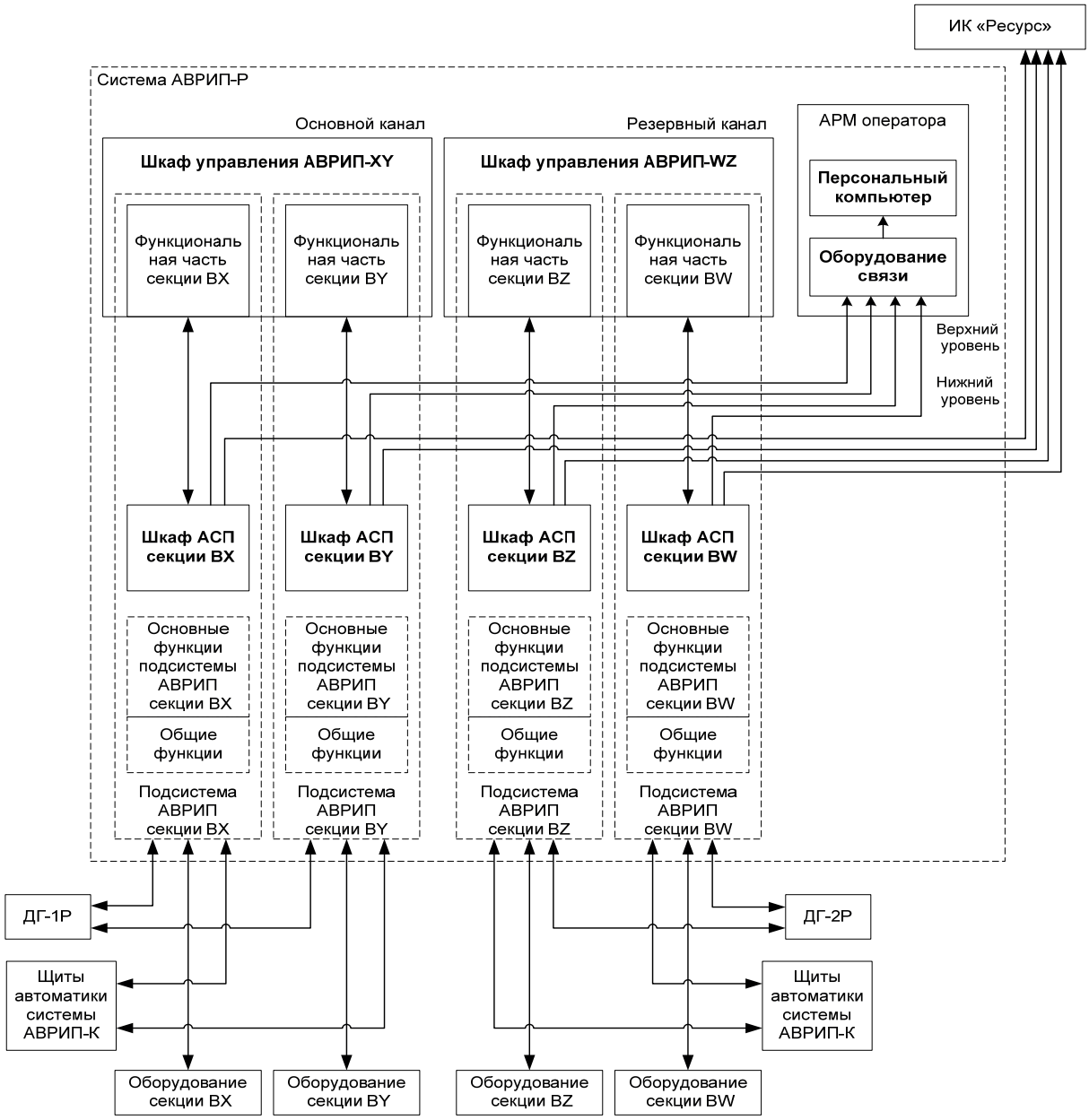


Рисунок 1 – Схема структурная системы АВРИП-Р

Схема представлена двумя независимыми каналами контроля и управления, соответствующими каналам электропитания оборудования важного для безопасности – от секций 63BX-6кВ, 63BY-6кВ (первый канал) и от 63BW-6кВ, 63BZ-6кВ (второй канал). Структуры первого и второго каналов контроля и управления АВРИП-Р аналогичны.

АРМ оператора АВРИП-Р (АРМ-О) и АРМы инженера электрика ИК «Ресурс» (АРМ-ЭЛ) взаимодействуют с каждым каналом контроля и управления и обеспечивают представление на дисплее детализированной информации о работе системы АВРИП-Р в целом.

Система АВРИП-Р и каждый канал системы имеют иерархическую двухуровневую архитектуру со следующим распределением основных функций:

- верхний уровень:
  - шкафы управления ШУ XY и ШУ WZ - операторский контроль и автоматизированное управление;
  - АРМ оператора (АРМ-О, общее для двух каналов) – операторский дистанционный детализированный контроль и сохранение данных;
- нижний уровень:
  - шкафы АСП-X, АСП-Y, АСП-W, АСП-Z - автоматический ввод источников резервного питания 6 кВ при перерыве питания в сети внешнего электроснабжения, перевод системы АВРИП в основной режим работы, автоматический контроль состояния системы АВРИП-Р.

АРМ-ЭЛ ОЩУ и АРМ-ЭЛ РЩУ не входит в состав системы АВРИП-Р, в рамках этих АРМ реализуются функции аналогичные АРМ-О, а также дополнительные функции контроля состояния электротехнического оборудования стендового комплекса.

Шкафы управления (ШУ XY и ШУ WZ) предназначены для обеспечения контроля (информационные функции) и автоматизированного управления электротехническим оборудованием и дизель генераторами (ДГ-1Р и ДГ-2Р) соответствующих каналов системы аварийного электроснабжения. Шкафы управления АВРИП изготавливаются на основе мозаичной технологии, внешний вид представлен на рисунке 2.

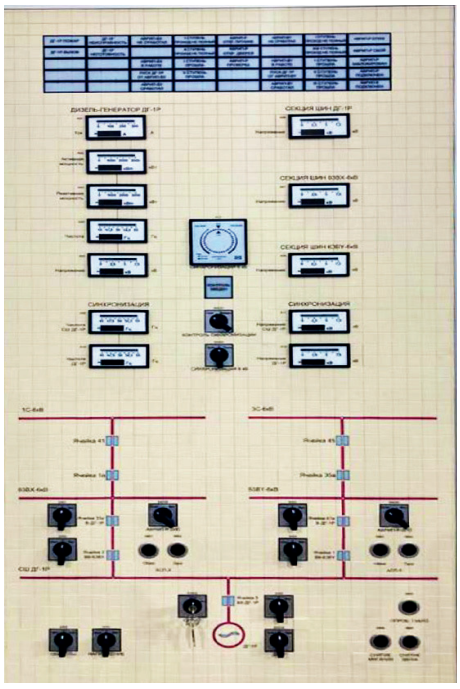


Рисунок 2 – Внешний вид шкафа управления АВРИП

Шкафы управления АВРИП не содержат контроллеров и непосредственно в реализации основных функций не участвуют.

Шкафы АСП содержат контроллеры и предназначены для реализации основной функции АВРИП-Р – автоматического ввода источников резервного питания 6 кВ РДЭС двух каналов системы аварийного электроснабжения.

В состав шкафа АСП входят:

- контроллер АСП (дублированное исполнение: ПЛК1 и ПЛК2) –1 шт.;
- контроллер «Регистратор» (не дублированное исполнение: ПЛК3) – 1 шт.;
- оборудование связи (включая средства оптоволоконной связи);
- блок аккумуляторных батарей – 1 шт.

Контроллер АСП (ПЛК1 и ПЛК2) имеет модульное исполнение, количество модулей в одном крейте до 20 шт.. Контроллер АСП имеет полностью резервированную структуру с функцией «горячего» резервирования и «горячей» замены. Входные сигналы поступают на два крейта ПЛК1 и ПЛК2. Управление осуществляет основной ПЛК (ПЛК1), резервный ПЛК (ПЛК2) находится в горячем резерве. В случае неисправности ПЛК1 управление переходит к ПЛК2 автоматически.

Контроллер АСП реализован на базе контроллера REGUL R500 фирмы «ПрософтСистемы» (внешний вид показан на рисунке 3) основными характеристиками контроллера являются:

- крейт, масштабируемый с дискретностью в один модуль (до 20 модулей);
- «горячее» резервирование центральных процессоров, источников питания, внутренней шины;
- «горячая» замена всех модулей контроллера;
- дублированная высокоскоростная внутренняя шина данных;
- монтаж на панель или в 19” шкаф.

Контроллер имеет блочно-модульную конструкцию, состоящую из одного или нескольких крейтов, которые включают в себя модули различного типа. Модуль является основным элементом контроллера и в зависимости от типа выполняет ту или иную функцию.

Рисунок 3 – Внешний вид контроллера REGUL R500

Контроллер включает в себя следующие типы модулей:

- модули источника питания (ИП);
- модули центрального процессора (ЦП);
- модули коммуникационного процессора;
- модули аналогового ввода;
- модули дискретного ввода;
- модули дискретного вывода;
- оконечные модули;
- модуль(и) шасси.

Контроллер АСП реализует алгоритм выполнения основных функций АВРИП-Р, измерение и ввод электрических сигналов (дискретный сигнал 220В постоянного тока), обработку на модуле центрального процессора и выдачу управляющих сигналов (дискретный сигнал 220В постоянного тока) в шкаф автоматизации ДГ-1Р (ДГ-2Р), в ячейки секций, а также в ШУ XY (ШУ WZ) сигналов индикации и сигнализации.

Контроллер «Регистратор» выполнен на базе тех же программно-технических средств, что и контроллер АСП. Структура контроллера – частично дублированная (дублируется процессорный модуль) с реализацией «горячей» замены модулей.

Контроллер «Регистратор» обеспечивает:

- регистрацию данных полученных от контроллера АСП (оперативная регистрация);
- выдачу в шкаф управления АВРИП сигналов индикации, а также состояния ПТС шкафа АВРИП;
- обмен данными с АРМ-О и АРМ-ЭЛ;
- измерения и ввода электрических сигналов (дискретный сигнал 220 В постоянного тока), обработку в модуле центрального процессора и выдачу управляющего сигнала (дискретный сигнал 220 В постоянного тока), а также измерения и ввода аналоговых электрических сигналов (4–20 мА).

Контроллеры шкафа АСП обеспечивают конфигурирование, обновление программ (по интерфейсам Ethernet/RS-232/RS-485, в резервированной конфигурации без прерывания прикладной программы).

Автоматизированное рабочее место оператора предназначено для реализации вспомогательных информационных функций с более детальным представлением информации по отношению к ШУ АВРИП, а также долгосрочного сохранения данных и представления сохранённых данных. АРМ базируется на основе:

- персонального компьютера общепромышленного применения;
- сетевого RAID-накопителя;
- источника бесперебойного электропитания;
- блока АВР.

Сетевой RAID-накопитель обеспечивает долгосрочное, надёжное хранение полученных данных, а также предоставление доступа к сохранённым данным со стороны персонального компьютера АРМ-О.

Обмен данными АРМ с контроллерами «Регистратор» осуществляется с частотой не менее 2 Гц по каналам связи типа Ethernet (1000 Мбит/с) на базе оптоволоконных линий связи.

По составу автоматизированное рабочее место инженера электрика аналогично оборудованию с АРМ-О, но не содержит сетевого RAID-накопителя.

На АРМ оператора АВРИП-Р и АРМ инженера электрика реализованы системы видеокадров. Разработка видеокадров выполнена с учётом эргономических требований к человеко-машинному интерфейсу. Видеокадры так же, как и функции, разделены на основные и обеспечивающие. Основные видеокадры направлены на реализацию основных функций системы АВРИП-Р, а обеспечивающие – на реализацию общесистемных и обеспечивающих функций.

К основным видеокадрам относятся:

- обобщенный видеокадр, предназначенный для отображения обобщенной информации о реализации основной функции (пример представлен на рисунке 4);
- технологические видеокадры – каждый технологический видеокадр предназначен для отображения подробной информации о состоянии электротехнического оборудования и параметров соответствующего узла в схеме электроснабжения стендового комплекса (пример представлен на рисунке 5);
- видеокадры событий, предназначенные для отображения информации о внешних и внутренних событиях, влияющих на реализацию основных функций и работу системы АВРИП-Р, а также обеспечивающих управление обработкой событий (пример, смотри рисунок 6).

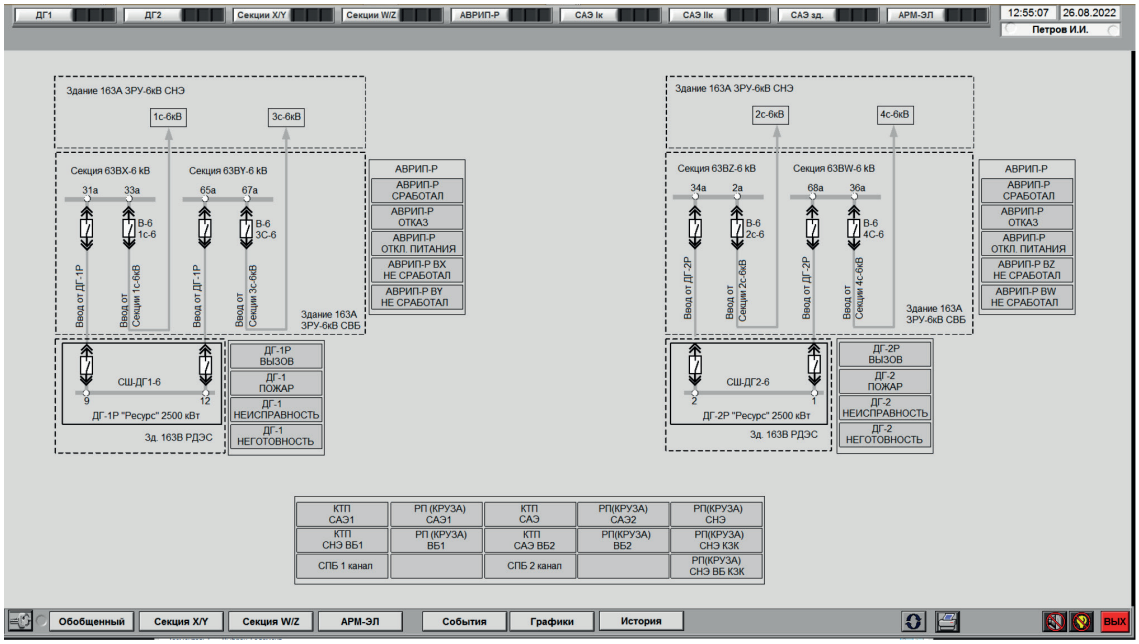


Рисунок 4 – Обобщенный видеокадр АВРИП-Р

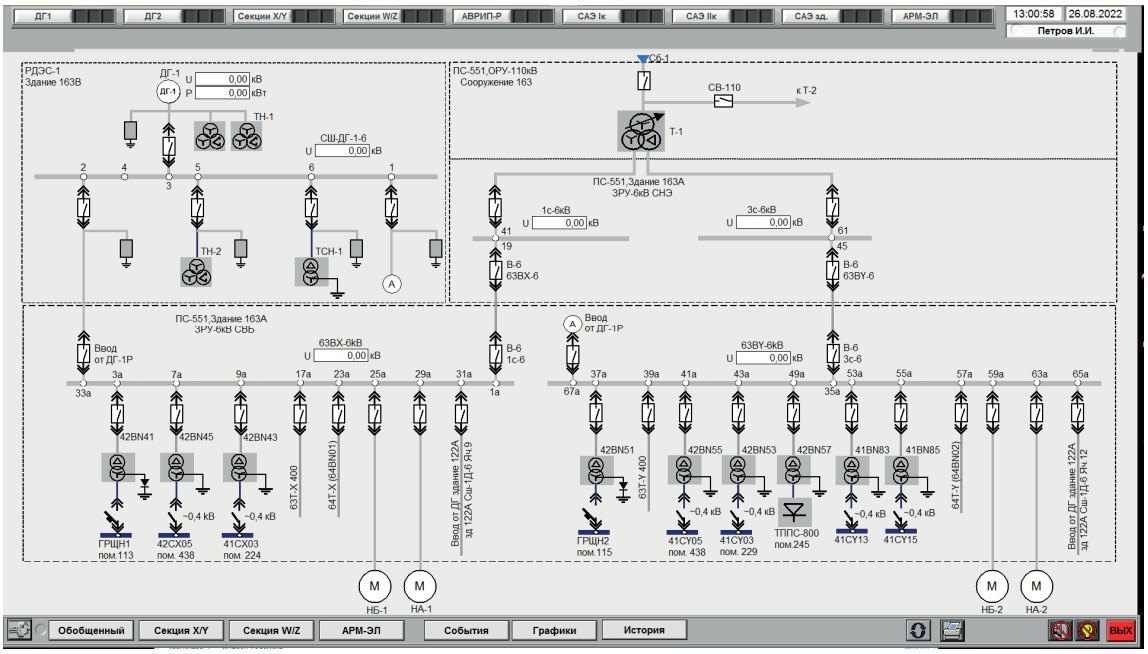


Рисунок 5 – Пример технологического видеокадра, «Видеокадр секций XY»

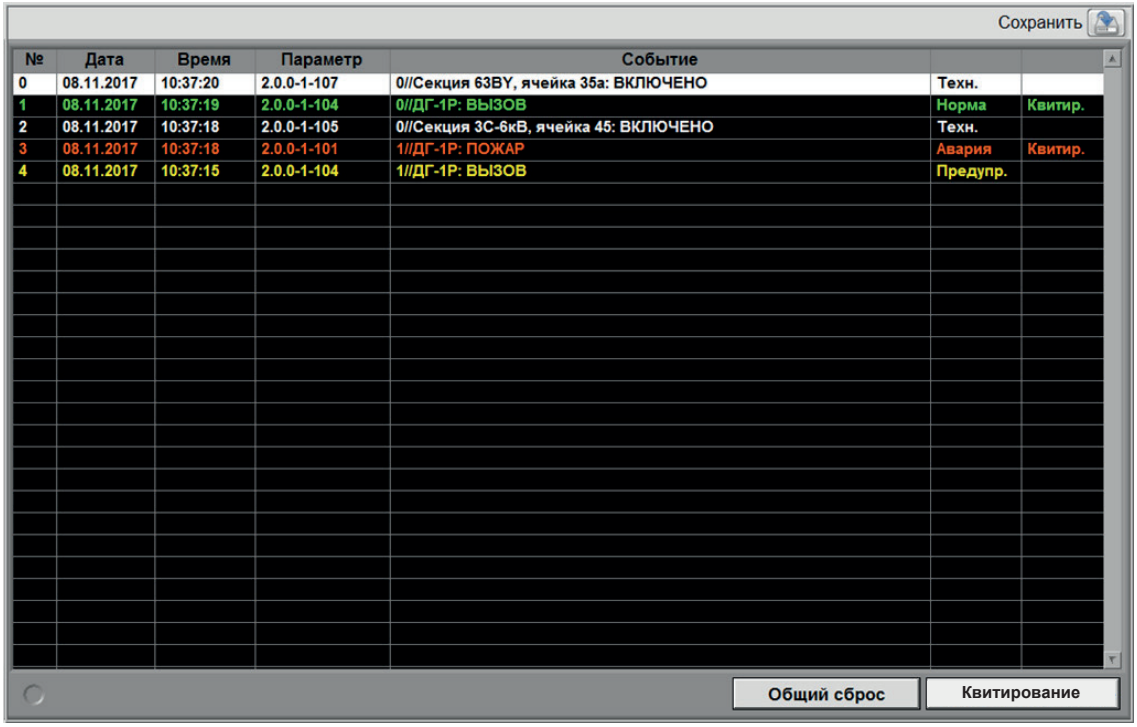


Рисунок 6 – Видеокадр событий

К обеспечивающим видеокадрам относятся:

- видеокадр графиков, предназначенный для отображения графической информации о состоянии контролируемых параметров, событий, о состоянии электротехнического оборудования и т. д. (смотри рисунок 7);
- видеокадры контролируемых параметров с табличной формой представления данных о контролируемых параметрах;
- видеокадры работы с сохранёнными данными.

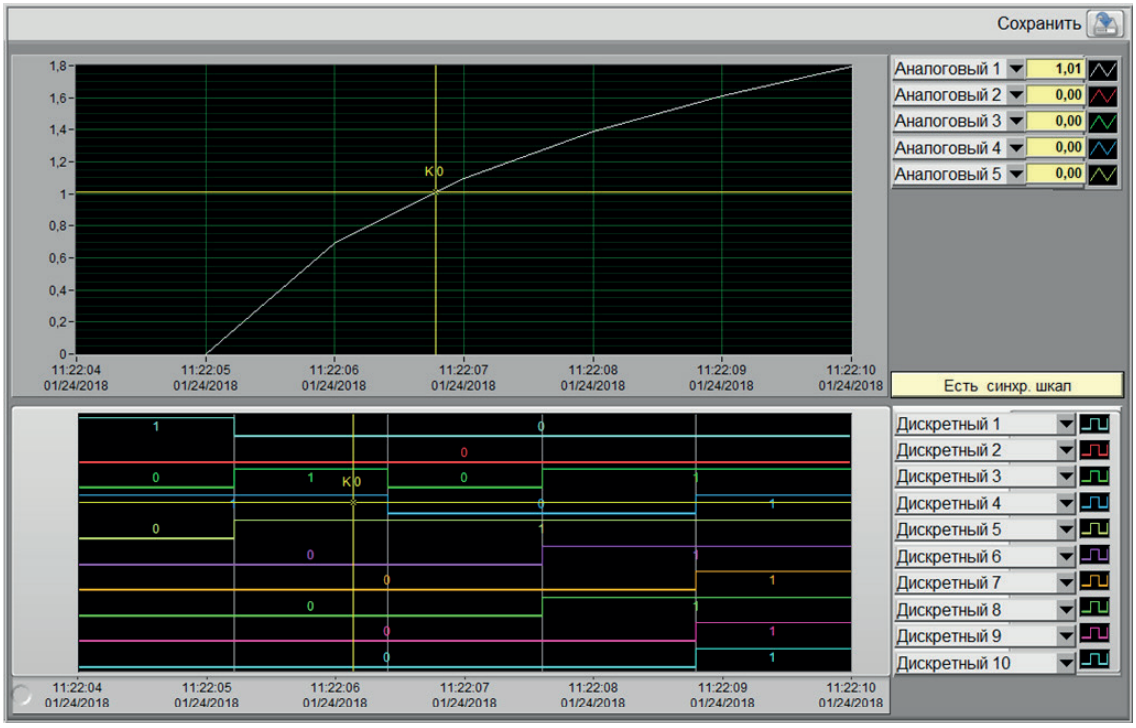


Рисунок 7 – Видеокадр графиков

Для реализации необходимых функций в контроллерах АСП используется поставляемая с контроллером среда разработки Epsilon LD с поддержкой следующих характеристик:

- поддержка пяти языков стандарта МЭК 61131-3 (IL, LD, ST, SFC, FBD);
- обеспечение выходного формата прикладной программы – машинный код;
- конфигурирование проекта (менеджеры задач, конфигурация ПЛК, менеджер библиотек);
- наличие интегрированного отладчика - работа в online-режиме;
- наличие удалённой отладки и загрузки программ по сети;
- поддержка объектно-ориентированного программирования;
- встроенная поддержка сетей UDP, TCP/IP, Modbus, Modbus+, а также OPC технологий;
- наличие встроенного редактора визуализации.

Инструментальным программным обеспечением АРМ является среда LabView в которой также обеспечена поддержка сетей с протоколами UDP, TCP/IP, Modbus, Modbus+, а также OPC технологий.

Для АРМ используется операционная система MS Windows.

В качестве операционной системы контроллера используется поставляемая с ними операционная система реального времени со следующими основными характеристиками:

- детерминированное поведение в наихудших внешних условиях;
- типовое время реакции на прерывание – около 5 мкс;
- прогнозируемые времена реакций на события;
- реализация алгоритмов вытесняющей многозадачности с приоритетами;
- реализация защиты памяти;
- микроядерная архитектура операционной системы: неисправность отдельного программного модуля не приводит к неисправности всей ОС.

Операционная система контроллера поставляется с контроллером и обеспечивает решение задач АВРИП с циклом 1–2 мс.

В 2020–2021 годах по соответствующим заданиям выполнено изготовление:

- всех шкафов системы АВРИП-Р; шкафы прошли необходимые испытания по классу влияния на безопасность ЗНО, изготовитель – завод «ЭлектроПульт» (г. Санкт-Петербург);
- всех АРМ: АРМ прошли необходимые испытания согласно заданию, класс влияния на безопасность – 4; изготовление выполнено отделением динамических исследований ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

В настоящее время выполнен монтаж оборудования АВРИП-Р на месте эксплуатации, ведутся пусконаладочные работы в автономном режиме.

8

АСКРЭО. Карта
SAMSUNG
Зеленогорск
Сестрорецк
1.С.Бор
0.11
2.С.Бор
0.12
Шепелево
0.11
Кронштадт
САНКТ-ПЕТЕ
Ломоносов
Петродво
Усть-Ижорский
Сосновый
ФОС-1
СТК
0.09
ДОЗИМЕТР ДКС-АТ5350/1

8. Обеспечение радиационной безопасности

8.1 Деятельность отдела радиационной безопасности в 2021 году

В.В. Корноухов

Отдел радиационной безопасности является научно-производственным подразделением института.

В 2021 году специалистами отдела радиационной безопасности проведена внереакторная дефектация ОТВС на доработанном универсальном стенде, выполнено гамма-сканирование ОТВС активной зоны стенда КВ-1.

Обращение с ОТВС стенда КВ-1, включая транспортно-технологические операции, потребовало дополнительных организационно-технических мероприятий обеспечения радиационной безопасности, в том числе увеличение объёма радиационного контроля. Благодаря спланированным и реализованным в 2021 году работам дозовые нагрузки на персонал не превысили ни нормативов, ни достаточно жестких контрольных уровней, установленных на предприятии. Одновременно удалось исключить несанкционированное распространение радиоактивных веществ, что подтвердило выполнение физическими барьерами функций безопасности и нахождение объектов контроля в режиме нормальной эксплуатации.

Специалисты отдела принимали непосредственное участие в начавшемся процессе вывода из эксплуатации ЯЭУ стенда-прототипа КВ-2.

8.2 Внереакторная дефектация ОТВС активной зоны стенда КВ-1

М.Н. Баев, О.Н. Саранча, И.Н. Лаптев, К.В. Казак

Дефектация ОТВС является одним из этапов стендовых испытаний активных зон ЯЭУ, проводимых с целью определения и подтверждения их ресурсных характеристик.

Основной целью дефектации является оценка состояния оболочек твэлов, входящих в состав ОТВС, с точки зрения их целостности (герметичности).

Методология определения негерметичности оболочек твэлов основана на измерении объёмной активности криптона-85 (реперного радионуклида), поступающего в газовый контур универсального стенда дефектации из-под оболочек негерметичных твэлов при нагреве ОТВС. Нагрев ОТВС до заданной температуры (и выдержка при этой температуре заданное время) осуществляется в специально сконструированном герметизируемом испытательном контейнере (ГИК) универсального стенда дефектации, разработанного во ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

Универсальный стенд дефектации ОТВС состоит из следующих основных частей:

- ГИКа с электронагревателями, в который помещается исследуемая ОТВС;
- контура многократной циркуляции газа (КМЦГ) с запорной и соединительной арматурой и газодувкой;
- измерительного контура, включающего радиометры и измерительную камеру, подсоединённые по газовому тракту к КМЦГ, и систему отбора газовых и аэрозольных проб.

С целью повышения чувствительности применяемого метода контроля и на основании результатов проведённых в 2020 году исследований по изучению вклада в результаты радиометрических измерений реперного радионуклида «мешающих» радионуклидов (таких как углерод-14 в газообразных формах), а также с учётом приобретённого ранее опыта подобных работ в технологический процесс дефектации были внесены следующие изменения:

- вместо воздуха для заполнения газового контура стенда дефектации был использован технический азот с содержанием кислорода не более 1 % об., что позволило снизить примерно в четыре раза выход в контур основного «мешающего» радионуклида углерода-14 в газообразных формах;
- из двух средств очистки газового контура стенда от газообразных форм углерода 14 и трития применялась только система на основе колонок с сухим селективным сорбентом и силикагелем, как более эффективная по глубине очистки (не менее двух порядков) и быстродействию. Это очень важно при кратковременном включении газодувки для перемешивания и очистки газовой среды в контуре стенда дефектации перед проведением измерений;
- при финальном измерении объёмной активности криптона-85 в газовой среде стенда дефектации гамма-спектрометром время экспозиции (набора спектра) увеличивалось до 50 400 секунд. Это позволило снизить минимальную детектируемую активность криптона-85.

На основании результатов проведённых исследований по изучению вклада в результаты радиометрических измерений реперного радионуклида «мешающих» радионуклидов таких, как углерод-14 в газообразных формах и приобретённого опыта в технологический процесс дефектации был внесён ряд существенных изменений, которые значительно повысили чувствительность применяемого метода дефектации.

Достигнутая чувствительность применяемого метода позволила для десяти ОТВС зарегистрировать содержание реперного нуклида (криптон-85) в газовом измерительном контуре стенда дефектации, в три и более раз превышающее фоновые значения.

В результате выполненных работ в полном объёме и с требуемой точностью проведена внереакторная дефектация ОТВС активной зоны стенда КВ-1.

8.3 Гамма-сканирование ОТВС активной зоны стенда КВ-1

М.Н. Баев, О.Н. Саранча, Р.В. Червяков, И.Н. Лаптев, К.В. Казак

В целях подтверждения проектных характеристик, одной из задач послереакторных исследований ОТВС активных зон ЯЭУ после проведения ресурсных испытаний на наземных стендах-прототипах является определение выгорания ядерного топлива по высоте и радиусу активной части ОТВС. Данная задача решается путём проведения гамма-сканирования ОТВС – последовательных измерений распределения гамма-излучающих радионуклидов – продуктов деления топлива в узком «срезе» ОТВС с перемещением её относительно детектора с заданным шагом и вращением вокруг оси.

При подготовке к проведению внереакторной дефектации ОТВС активной зоны стенда было принято решение провести гамма-сканирование наиболее представительных ОТВС. Для проведения гамма-сканирования были разработаны стенд гамма-сканирования, схематично изображённый на рисунке 1, а также «Программа-методика гамма-сканирования ОТВС после завершения кампании стенда КВ-1».

Рисунок 1– Стенд гамма-сканирования

Для определения активности радионуклидов в ОТВС необходимо было определить эффективность регистрации спектрометрической системы в конкретной геометрии измерения, реализованной на стенде.

В связи со сложностью проведение прямых градуировочных измерений по определению эффективности регистрации гамма-линий реперных радионуклидов из-за отсутствия калибровочного источника с необходимой активностью градуировка спектрометрической системы по эффективности осуществлялась с помощью расчётного моделирования. Расчётное моделирование эффективности регистрации проводилось с использованием аттестованного программного комплекса «Effmaker» (ООО «ЛСРМ», свидетельство о регистрации № 2014614691 от 06.05.2014).

В результате выполненных работ:

- смоделирован измерительный тракт (полупроводниковый блок детектирования и спектрометрический анализатор);
- создана модель геометрии измерений, соответствующая реальным условиям проведения измерений;
- сформирован энергетический спектр гамма-излучения с помощью энергетической сетки;
- рассчитаны эффективности регистрации спектрометрической системы стенда гамма-сканирования.

В течение 2021 года было проведено сканирование всех ОТВС, предусмотренных программой-методикой.

9

9. Метрологическое обеспечение исследований и испытаний на стендах-прототипах транспортных ЯЭУ

А.Ю. Волков, И.Е. Кольцов

Основными направлениями работ отдела метрологических исследований (ОМИ) в 2021 году было метрологическое обеспечение (МО) работы стендов-прототипов ЯЭУ НИТИ и участие в работах, проводимых подразделениями института, по разработке измерительных, диагностирующих систем и средств измерений (СИ) для стендов-прототипов ЯЭУ и АЭС.

За 2021 год в институте работниками ОМИ поверено 9448 средств измерений, откалибровано 591 СИ. Приобретено и поставлено на метрологический учёт 568 ед. СИ (учёт проводился с использованием автоматизированной системы учёта). С 2020 года ведётся разработка нового программного продукта по учёту метрологического оборудования института на всех стадиях его жизненного цикла и начата опытная эксплуатация отдельных компонентов программного продукта.

На балансе метрологической службы института находится 379 рабочих эталонов для поверки и калибровки СИ. Все эталоны прошли процедуру первичной аттестации. Актуализированы и согласованы с заказчиком перечни испытательного оборудования, средств измерений и эталонов.

Проведена метрологическая экспертиза 192 экз. научно-технической документации общим с оформлением замечаний и предложений по её корректировке. Аттестовано 14 ед. испытательного оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 0008-002-2013 и ГОСТ Р 8.568-2017.

В соответствии с СТО 40-2018 «Внутренний метрологический надзор» осуществлялся метрологический контроль и надзор за состоянием и применением на предприятии метрологического оборудования.

В объёме подготовки к очередному этапу испытаний оборудования, проводимых на стендовом комплексе института, выполнены работы по ремонту, пусконаладке, градуировке, юстировке, поверке, калибровке СИ и измерительных каналов 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 измерительного канала с датчиками типа 44 Д и ДСИ 111 систем важных для безопасности.

Проверена работоспособность и определены действительные значения метрологических характеристик в условиях эксплуатации у аналоговых измерительных каналов измерительно-вычислительного комплекса автоматизации натурных испытаний «АНИС-ВЗ».

Подтверждена пригодность к дальнейшему использованию по назначению испытательного расходомерного стенда (ЭРС), работающего на воде высокой чистоты, путём периодической аттестации по программе, утверждённой ФБУ «ГНМЦ» Министерства обороны Российской Федерации, осуществившей его первичную аттестацию. В объёме подготовки к периодической аттестации ЭРС организованы и проведены работы по поверке входящих в состав стенда средств измерений. Осуществлено сопровождение работ по гидравлическому монтажу и электрическим подключениям поверенных СИ на стенде ЭРС.

Проводилось метрологическое обеспечение испытаний системы поглощения газов на локальном испытательном стенде ВХГР, предназначенном для испытания каталитических рекомбинаторов водорода.

10

10. Внедрение информационных технологий

Д.В. Макаров, А.В. Звонцов, Д.А. Бекиш

В рамках осуществления Политики ИТ силами сотрудников отдела информационных технологий выполнялись работы по централизованному администрированию на основе доменной инфраструктуры, унификации оборудования и офисного ПО, резервированию корпоративных данных на серверах ОИТ.

По состоянию на конец 2021 года под администрированием ОИТ находятся:

Физические серверы	19	Корпоративные (внутренние) информационные системы	24	Информационные системы (ИС) банков и управления федерального казначейства	9
Виртуальные машины	93	Внешние системы - из них информационные ресурсы (ИРС) Госкорпорации «Росатом» -	56 27	Федеральные государственные ИС	20
Системы хранения данных	2				
ПЭВМ	1063				

В настоящее время НИТИ оснащён 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 приведена статистика по количеству информационных систем и пользователей.

Рисунок 1 – Статистика по количеству пользователей основных корпоративных и внешних информационных систем

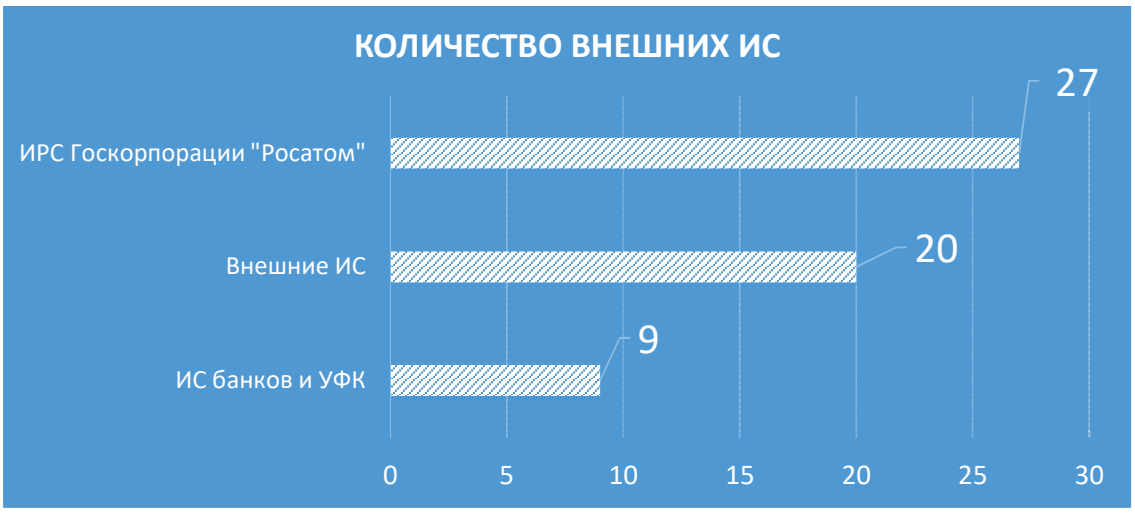


Рисунок 2 – Статистика по подключению к внешним информационным системам

Работы по цифровизации бизнес-процессов предприятия в 2021 году:

1. Создание автоматизированной системы в защищенном исполнении «Корпоративная локально-вычислительная сеть»:
   - завершены работы по договору с ФГУП «НПП «Гамма» СПб «Комплексное обследование информационной инфраструктуры ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». Оценка соответствия защищенности объектов критической информационной инфраструктуры требованиям по защите информации. Создание проектов на модернизацию АС и подсистемы защиты информации в АС»;
   - оформлены документы для закупки в 2022 году оборудования и программного обеспечения согласно спецификации проекта.
2. Ввод в промышленную эксплуатацию и масштабирование системы управления научно-технической документации (СУ НТД) на базе ИС «Техэксперт». В системе зарегистрировано 425 пользователя из 34 подразделений.
3. Выполнены работы в зоне ответственности ОИТ в производственной системе развития департамента бухгалтерского учёта (ДБУ):
   - оптимизация процесса оформления и подписания требований-накладных на получение материальных ценностей с переходом на подписание простой электронной подписью на платформе корпоративной информационной системы (КИС) «Компас»;
   - внедрение электронного документооборота между НИТИ и контрагентами, готовыми обмениваться документами в электронном виде. Осуществлено подключение к внешней ИС «Диадок».
4. Подключение ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» к ресурсам Госкорпорации «Росатом» через узел корпоративной системы передачи данных (КСПД).
5. Модернизация системы электронного документооборота:
   - утверждено техническое предложение модернизации системы электронного документооборота института;
   - подготовлено и направлено техническое задание и заявка на заключение договора на услуги по приобретению лицензий на право использования и внедрению СЭД. Ориентировочно срок выполнения работ - 4-й квартал 2022 года.
6. Перевод автоматизированной системы (АС) «Учёт предоставления спецпитания» на систему «Обед.ру»:
   - получено, подключено и настроено необходимое оборудование;
   - установлено необходимое программное обеспечение (ПО);
   - реализован механизм учёта предоставления спецпитания по пропускам НИТИ;
   - проведено обучение пользователей по работе с системой.
7. В рамках администрирования единой отраслевой системы документооборота (ЕОСДО):
   - на основании приказа по институту о согласовании Аналитических записок и Госдоговоров на базе функционала ЕОСДО разработаны необходимые формы и реализован механизм согласования форм между подразделениями. Данный механизм существенно сократил время согласования договорных документов;

- на 30.12.2021 к ЕОСДО подключен 991 пользователь 45 подразделений института. Количество зарегистрированных документов в 2021 году (внутренняя служебная переписка) – 24 386;
- организовано размещение актуализированной статистики по учётным записям пользователей, роли «Помощник» и документации в специальном разделе внутреннего Портала института «ЕОСДО».

8. Осуществлялись работы по подключению пользователей института к федеральным, банковским и ИРС Госкорпорации «Росатом», а также по их сопровождению (в т.ч. по взаимодействию со службами технической поддержки систем в случаях сбоя в работе систем или модулей клиентской части) и обучению по работе в системах.

9. Разработан и утверждён «План аварийного восстановления критичных сервисов ИТ-инфраструктуры института», что позволяет оптимизировать работу сотрудников и максимально сократить время восстановления критичных сервисов института в случае утраты их работоспособности.

10. На информационном портале института проведены работы по созданию и тиражированию системы бронирования помещений (учебный класс, конференц-залы) для проведения очных совещаний и совещаний в режиме видео-конференц связи (ВКС). На сегодняшний день на портале есть возможность забронировать три помещения общего пользования.

11. Организация сервиса для выполнения договорных обязательств НИТИ в части хранения и актуализации данных о «проблемных вопросах», выявленных в процессе учёта человеческого фактора на стадиях проектирования, изготовления и поставки оборудования, пуско-наладки и ввода в эксплуатацию энергоблока АЭС «Ханхикиви-1». Выполнены работы по организации сервиса HFE Issue Tracking System на базе Free ПО Redmine.

12. В целях улучшения качества предоставляемых услуг сотрудниками лаборатории в III квартале 2021 года был реализован механизм получения обратной связи от сотрудников института по заявкам (инцидентам), отработанных сотрудниками ОИТ.

13. Организация сервиса учёта и инвентаризации вычислительной техники, ПО и лицензий на базе Free ПО GLPI.

14. В рамках сопровождения и оптимизации центра обработки данных института (ЦОДИ) была сконфигурирована дисковая полка HP Storage Works D2600 для долгосрочного резервного копирования критичных сервисов института, что позволяет увеличить время хранения данных и уменьшает риск их потери.

15. В рамках развития централизованного управления доменной инфраструктуры сконфигурирован новый контроллер домена (AD) в сети интернет для централизованного управления ПЭВМ с операционной системой (ОС) Windows. Для осуществления централизованного управления ОС семейства Linux в сети интернет на базе ОС Astra Linux было развернуто ПО FreeIPA. Данные меры позволят оптимизировать трудозатраты сотрудников технической поддержки, что улучшит качество оказываемых услуг. В данный момент домен AD и FreeIPA эксплуатируется в тестовом режиме в связи с невозможностью масштабирования, в виду отсутствия серверных мощностей в сети интернет.

В рамках работ по импортозамещению в 2021 году выполнено тестирование следующих отечественных программных продуктов для оценки возможности их дальнейшего внедрения в институте:

- ПО «Акронис защита данных», предназначенного для резервного копирования данных. По результатам тестирования сотрудники лаборатории пришли к мнению, что ПО «Акронис защита данных» не в полной мере соответствует требованиям существующей продуктивной инфраструктуры института. Несмотря на то, что ПО «Акронис защита данных» является лучшим из отечественных программных продуктов резервного копирования на рынке, полноценно заменить используемое в институте ПО Veeam backup and replication на данный момент нет возможности. По результатам тестирования был подготовлен технический отчёт (рег.№21/27-11/077);
- ПО nanoCad, предназначенного для проектирования и моделирования объектов различной сложности. В тестировании принимали участия сотрудники шести подразделений института. По результатам тестирования имеется потребность Управления капитального строительства в приобретении данного ПО;
- ПО для сервера электронной почты Communigate Pro. Сделан вывод, что ПО Communigate Pro полностью удовлетворяет потребностям института в данном направлении. Направлена Заявка на включение ПО Communigate Pro в план закупки на 2022 год за счёт софинансирования Госкорпорацией «Росатом»;
- ПО TrueConf, предназначенного для проведения ВКС и использования в качестве корпоративного мессенджера. По результатам тестирования сделан вывод, что данное ПО удовлетворяет потребностям института по своему направлению. Направлена Заявка на включение ПО TrueConf в план закупки на 2022 год за счёт софинансирования Госкорпорацией «Росатом».

16. Согласно приказу института «Об открытии проекта «Сайт НИТИ» были реализованы следующие цели проекта:
    - разработка структуры и содержания сайта с приведением сайта к современному визуальному и адаптивному виду с использованием современных инструментов предоставления информации (внешние медиа-сервисы);
    - внедрение сертификатов безопасности и обеспечение защиты информационного наполнения сайта;
    - разработка эксплуатационной документации.

17. Активно велись работы по реализации программы импортозамещения Госкорпорации «Росатом». В сети интернет и локальной сети института были установлены 115 лицензий ОС Astra Linux и ПО «Мой Офис». Выявлен ряд проблем несовместимости ПО с ОС Astra Linux, анализ которых показал, что при установке на ПЭВМ пользователей отечественной ОС ряд бизнес-процессов не может протекать в штатном режиме. В 2022 году сотрудники ОИТ будут заниматься поиском возможных путей решения данной проблемы.

11

НА ШАГ ВПЕРЕДИ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА РЕЗУЛЬТАТ
ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ЕДИНАЯ КОМАНДА
УВАЖЕНИЕ
БЕЗОПАСНОСТЬ

11. Управление качеством

Управление качеством и развитием производственной системы института

О.Н. Щипалкин, Ю.Н. Пупышев, А.В. Журба, В.С. Кухтик

01.09.2021 года исполнилось 20 лет со дня создания отдела контроля качества – самостоятельного подразделения, обеспечивающего развитие системы управления качеством в институте. За двадцать лет функции отдела значительно расширялись: от контроля качества при изготовлении продукции до внедрения системы менеджмента качества на основе требований международного стандарта ISO 9001 и дополнительных требований ГОСТ РВ 0015-002, развития производственной системы организации (ПСР).

С 01.03.2015 отдел преобразован в отдел управления качеством, а с 01.11.2021 – в отдел управления качеством и ПСР (ОУКПСР).

Отдел является функциональным подразделением института, осуществляющим комплекс работ по обеспечению соответствия системы менеджмента качества НИТИ установленным требованиям, развитию производственной системы института, обеспечению качества выпускаемой продукции (работ, услуг). Отдел непосредственно участвует в производственном цикле изготовления и поставки продукции производственно-технического назначения, оборонной продукции при проведении опытно-конструкторских и ремонтных работ.

Система менеджмента качества предприятия

Система менеджмента качества (далее – СМК) внедрена в НИТИ с 2009 года. СМК охватывает деятельность всех структурных подразделений института. Основное назначение созданной СМК – это постоянное улучшение деятельности института с учётом потребностей заинтересованных сторон.

СМК является инструментом руководства института для реализации Политики в области качества посредством достижения поставленных целей на основе принципов менеджмента качества.

Политика в области качества института периодически анализируется и при необходимости актуализируется. Действующая Политика объявлена приказом института от 11.02.2020 № 20/104-П. Этот документ отражает основные направления деятельности института на текущий момент и на перспективу с учётом интересов заказчиков и потребителей продукции, работ и услуг предприятия.

Комплекс работ по разработке, внедрению, поддержанию функционирования и совершенствованию системы менеджмента качества в институте реализуется группой развития и аудита СМК ОУКПСР.

В 2021 году проведён очередной цикл ресертификации СМК Органом по сертификации «Ассоциация по сертификации «Русский Регистр» на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2015, ГОСТ Р ИСО 9001-2015, в результате которой подтверждено, что СМК ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» соответствует установленным требованиям, обеспечивает требуемую результативность при проведении работ в заявленной области деятельности и постоянно совершенствуется.

Действующие сертификаты СМК приведены ниже. В 2022 году запланировано подтверждение соответствия – первая инспекционная проверка СМК на соответствие требованиям ISO 9001:2015, ГОСТ Р ИСО 9001-2015.

ФЕДЕРАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
«НИТИ им. А.П. Александрова»
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

РОСАТОМ

ПОЛИТИКА В ОБЛАСТИ КАЧЕСТВА

Основным направлением деятельности предприятия является выполнение государственного заказа по комплексной отработке и испытаниям транспортных ядерных энергетических установок на натурных стендах-прототипах, а также выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по:

- экспериментальному и расчетно-теоретическому обоснованию безопасности действующих и вновь проектируемых объектов использования атомной энергии;
- созданию автоматизированных систем управления технологическими процессами;
- разработке химических технологий обеспечения жизненного цикла объектов использования атомной энергии;
- обращению с радиоактивными веществами и отходами;
- созданию аппаратно-технических средств для применения на объектах использования атомной энергии и иных объектах;
- созданию элементов систем физической защиты.

Наши стратегические цели:

- выполнение государственного заказа;
- создание новых продуктов для российского и зарубежных рынков;
- снижение себестоимости продукции и сроков протекания процессов.

Основной целью предприятия в области качества является выполнение в полном объёме установленных договорами (контрактами) требований потребителей (заказчиков) к качеству производимой продукции и услуг при неукоснительном соблюдении требований законодательства, регламентирующего все аспекты нашей деятельности. При этом высший приоритет отдаётся обеспечению безопасности как продукции, так и самой деятельности предприятия.

Основные задачи, реализуемые предприятием в области качества:

- совершенствование системы менеджмента качества;
- внедрение оптимальной организационной структуры предприятия с рациональным распределением функций между подразделениями и должностными лицами, установление ответственности, наделение должностных лиц соответствующими правами и полномочиями;
- личное участие и ведущая роль руководителей всех уровней в вопросах качества;
- обеспечение персональной ответственности каждого сотрудника за качество выполняемой работы, усиление мотивации повышения качества труда;
- обеспечение высокого уровня профессионализма персонала на основе постоянного повышения квалификации и совершенствования системы подбора, подготовки и переподготовки кадров, гарантированного уровня материального обеспечения и социальной защиты;
- повышение прозрачности и качества управления процессами предприятия с целью возможности проведения их мониторинга и оценки.

Высшее руководство предприятия принимает на себя обязательства и ответственность за реализацию настоящей Политики:

- обеспечивать результативное функционирование и непрерывное совершенствование СМК в соответствии с требованиями стандартов ГОСТ Р ИСО 9001 (ISO 9001) и ГОСТ РВ 0015-002, в том числе путем вовлечения персонала в процесс улучшений и создания атмосферы сотрудничества, личной заинтересованности в конечном результате работ, доведения и разъяснения Политики в области качества;
- действовать в соответствии с ценностями Госкорпорации «Росатом», принципами Производственной системы «Росатом» и Культуры безопасности;
- обеспечивать конкурентный уровень качества всех видов выпускаемой продукции и услуг на всех этапах жизненного цикла, повышать результативность мероприятий по обеспечению качества и предупреждению отклонений от заданных требований;
- обеспечивать внедрение в практику работы должностных лиц всех уровней основ управления рисками и возможностями;
- создавать организационные и структурные условия, необходимые для функционирования СМК, обеспечивать для этих целей кадровые, финансовые, технические, информационные и иные ресурсы;
- строить взаимовыгодные отношения с заинтересованными сторонами, повышать авторитет предприятия на потребительском рынке;
- соответствовать применимым требованиям, постоянно улучшать СМК и повышать её результативность;
- снижать непроизводительные расходы (потери) ресурсов по выполняемым контрактам (договорам).

Понимание и выполнение каждым работником положений настоящей Политики является основой успешной деятельности и финансовой стабильности предприятия.

Генеральный директор В.А. Василенко 11.02.2020

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 позволяют повышать эффективность и результативность деятельности подразделений и института в целом и обеспечивают достижение стратегических целей предприятия.

ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ
АССОЦИАЦИЯ ПО СЕРТИФИКАЦИИ "РУССКИЙ РЕГИСТР"
АТТЕСТАТ АККРЕДИТАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ
ПО АККРЕДИТАЦИИ № РОСС RU.0001.21ГА45

СЕРТИФИКАТ

Настоящим удостоверяется, что система менеджмента качества

Федерального государственного унитарного предприятия "Научно-исследовательский технологический институт имени А.П. Александрова"
Копорское шоссе, 72, Сосновый Бор, Ленинградская обл., 188540, Россия

была проверена и признана соответствующей требованиям стандарта

ГОСТ Р ИСО 9001-2015

в отношении работ и предоставления услуг, перечисленных в Приложении

№: 21.1914.026
от 11 октября 2021 г.
Система менеджмента сертифицирована с 2018 года

СИСТЕМА ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ
«ВОЕННЫЙ РЕГИСТР»
СОЗДАНА МИНОБОРОНЫ РФ В 2000 ГОДУ
ЗАРЕГИСТРИРОВАНА В ФЕДЕРАЛЬНОМ АГЕНТСТВЕ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ № РОСС RU.И1975.04ГШ02

Орган по сертификации систем менеджмента качества
Ассоциация по сертификации «Русский Регистр»
191014, г. Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 45/8, лит. А, пом. 6Н
Свидетельство о регистрации № ВР СР.1.14.0532-2019

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ
№ ВР 14.1.15776 – 2021

Зарегистрирован в Реестре Системы от 28.12.2021 г.
действителен до 28.12.2024 г.

Выдан Федеральному государственному унитарному предприятию «Научно-исследовательский технологический институт имени А.П. Александрова» (ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»)
Адрес места нахождения юридического лица: Российская Федерация, 188540, Ленинградская обл., г. Сосновый Бор, Копорское шоссе, д. 72
Адрес места осуществления деятельности: Российская Федерация, 188540, Ленинградская обл., г. Сосновый Бор, Копорское шоссе, д. 72

и удостоверяет, что система менеджмента качества применительно к *проектированию, разработке, изготовлению, испытаниям, поставке, монтажу, техническому обслуживанию, ремонту и утилизации вооружения и военной техники по классу ЕКПС (ЕК 001-2020): 4470; разработке, производству и ремонту вооружения и военной техники по классам ЕКПС (ЕК 001-2020): 6930, 6630, 6627; производству и ремонту вооружения и военной техники по классу ЕКПС (ЕК 001-2020):2030,*

соответствует требованиям
ГОСТ Р ИСО 9001-2015
и дополнительным требованиям ГОСТ РВ 0015-002-2012

ководитель органа по сертификации
М.П. А.В. Владимирцев
(подпись)
та начала сертификационного цикла 28.12.2021 года
сертифицирована с 28.12.2018 года

СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ РУССКОГО РЕГИСТРА
RUSSIAN REGISTER CERTIFICATION SYSTEM

СЕРТИФИКАТ

Настоящим удостоверяется, что система менеджмента качества

Федерального государственного унитарного предприятия "Научно-исследовательский технологический институт имени А.П. Александрова" (ФГУП "НИТИ им. А.П. Александрова")
Копорское шоссе, 72, Сосновый Бор, Ленинградская обл., 188540, Россия

была проверена и признана соответствующей требованиям стандарта

ISO 9001:2015

в отношении работ и предоставления услуг, перечисленных в Приложении

№: 21.1905.026
от 11 октября 2021 г.
Система менеджмента сертифицирована с 2018 года
Сертификат действителен до 11 октября 2024 г.

Генеральный директор Ассоциации по сертификации "Русский Регистр"

Приложение является неотъемлемой частью сертификата. Действие сертификата распространяется только на площадки компании, указанные в настоящем сертификате. Сертификат теряет силу в случае невыполнения условий сертификации (http://www.rusregister.ru/doc/004.00-105.pdf).

01-07139

Ассоциация по сертификации "Русский Регистр": пр. Римского-Корсакова, д. 104, Санкт-Петербург, 190121, Россия

Оценка соответствия продукции

В 2021 году основная задача по обеспечению качества продукции, поставляемой при реализации проектов «Реконструкция стенда КМ-1», «Техническое перевооружение и реконструкция стендовой базы для проведения испытаний корабельных РУ», выполняемых в рамках федеральных целевых программ, выполнялась группой по оценке соответствия продукции ОУК (с 01.11.2021 – ОУКПСР).

Выполнение работ по оценке соответствия продукции силами персонала эксплуатирующих подразделений-заказчиков и квалифицированным персоналом группы по оценке соответствия продукции ОУКПСР позволяет институту достигнуть следующих целей:

- снижать количество продукции с несоответствиями, выявляемыми при входном контроле;
- уменьшать сроки проведения входного контроля;
- снижать риски приемки некачественной продукции.

В 2021 году силами специалистов отдела реализовывался проект по совершенствованию процесса оценки соответствия продукции, позволивший снизить затраты института на организацию работ по оценке соответствия путём обоснованного применения дистанционного порядка освидетельствования контрольных точек.

Наиболее значимые для института работы по оценке соответствия продукции в 2021 году были выполнены по следующим Государственным контрактам:

- «Разработка, изготовление, поставка и монтаж системы свинцово-висмутового сплава» (№ 178КМ1/35-31 от 21.10.2019);
- «Изготовление и поставка компрессорных станций» (№ 61РС/35-31 от 21.11.2019).

Основной задачей группы по оценке соответствия продукции ОУКПСР при выполнении работ по контролю качества продукции в процессе в её производства является обеспечение выпуска институтом продукции, соответствующей требованиям технической документации, действующим документам по стандартизации, а также Федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии, и предупреждение производственного брака.

Выполнение работ по контролю качества продукции в 2021 осуществлялось квалифицированным персоналом по следующим приоритетным направлениям:

- изготовление экспериментальной установки «Корвет 2»;
- изготовление аппаратуры системы технического диагностирования (АСТД ГЦНА) для Курской АЭС-2 блок № 1, АЭС «Аккую» блок № 2, АЭС «Руппур» блок № 2;
- участие в изготовлении измерителя линейного импульсно-токового мобильного «ЛИМИТ»;
- участие в контроле при изготовлении и приемке станций сбора данных ССД-03 для АСРК объектов КМ-1, КЗК, РЕСУРС;
- сопровождение работ по изготовлению радиометров-спектрометров МГГ-010 для Кольской АЭС;
- участие в контроле при изготовлении стенда для исследований теплогидравлических процессов в элементах энергетического оборудования «ИСТП».

Развитие производственной системы предприятия

Производственная система «Росатом» (далее – 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.

ПСР – это культура бережливого производства и система непрерывного совершенствования процессов деятельности предприятия. Бережливое производство – это концепция организации бизнеса, ориентированная на создание привлекательной ценности для потребителя путём 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 основываются на принципах интеграции ПСР и СМК с учётом реализации Программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности института.

При реорганизации отдела управления качеством с 01.11.2021 в организационной структуре ОУКПСР создана новая группа развития ПСР, основные задачи которой определены в следующем:

- участвовать в разработке методологии развития производственной системы института, обеспечивать внедрение и развитие ПСР в подразделениях института;
- участвовать в реализации проектов ПСР в подразделениях и руководства института, обеспечивать соблюдение принципов ПСР и правильность применения инструментов ПСР;
- проводить анализ ПСР института, обеспечивать регулярное представление информации и отчётности о ходе работ по внедрению ПСР руководству предприятия;
- участвовать в организации и обучении персонала института инструментам ПСР.

Наиболее эффективными из реализованных в институте в 2021 ПСР-проектов являются:

1. «Повышение надёжности и эффективности аварийного электроснабжения здания 102 в период выгрузки активной зоны стенда КВ-1» (руководитель проекта и ответственный за ПСР главный инженер отделения (ОКЭЭР) Кононов В.А.), экономический эффект от реализации проекта составил 5 650,6 тыс. руб.
2. «Создание одномагистральной энергоэффективной системы сжатого воздуха ОГМ» (руководитель проекта главный механик (ОГМ) Шехонов Е.Б., ответственный за ПСР Грачев А.И.), экономический эффект составил 1 947,2 тыс. руб.
3. «Совершенствование системы учёта тепловой энергии и горячей воды института» (руководитель проекта начальник отдела (УЭС) Лукконен В.В., ответственный за ПСР Чернов В.Г.), экономический эффект составил 6 180,2 тыс. руб.

За многолетний добросовестный труд и значительный вклад в повышение конкурентоспособности продукции, выпускаемой институтом, в развитие системы управления качеством института и в связи с двадцатилетием со дня создания отдела были поощрены грамотами генерального директора института и памятными подарками ветераны института: Клепинин Е.В., Панов В.О., Порядин В.Н., Тыщук Н.Н., Смирнов А.П., Фёдоров В.М., Максименко Н.М., Белякова И.И., Новикова Т.Б., Мезенева И.Н.

12

12. Международное сотрудничество и научно-технические мероприятия

Ю.В. Крюков

12.1 Работа по международным соглашениям и контрактам

1. Поставка эталонных дозиметрических установок гамма- и нейтронного излучения

Контракт: «Участие в загрузке источников ионизирующего излучения и пусконаладке установки дозиметрической гамма-излучения УДГ-АТ130 и установки поверочной нейтронного излучения УПН-АТ140 с загруженными источниками на территории конечного пользователя – вч 62695»

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 дози-

метрических установок гамма- и нейтронного излучений 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, пусконаладке, загрузке источников ионизирующего излучения и сдаче эталонных дозиметрических установок Российскому Заказчику «под ключ».

В рамках работ по контракту сотрудники ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» участвовали в загрузке источников ионизирующего излучения и пусконаладке установки дозиметрической гамма-излучения УДГ-АТ130 и установки поверочной нейтронного излучения УПН-АТ140 с загруженными источниками на территории вч. 62695.

2. Предоставление программы для ЭВМ «САПФИР_95» центру по ядерной и радиационной безопасности МЧС Республики Беларусь

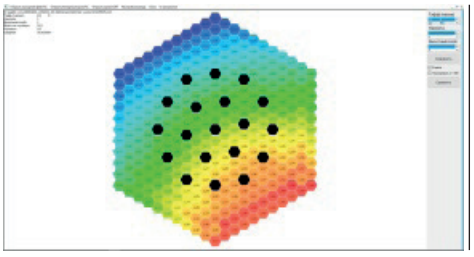
Контракт: «Предоставление неисключительного права использования программы для ЭВМ «САПФИР_95»

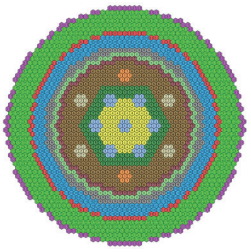
Зарубежный партнёр – Государственное научное техническое учреждение «Центр по ядерной и радиационной безопасности» МЧС Республики Беларусь.

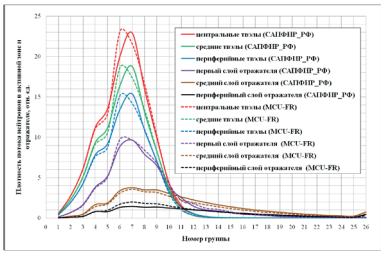
Государственное научное техническое учреждение (ГНТУ) «Центр по ядерной и радиационной безопасности» МЧС Республики Беларусь обратилось к ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» с просьбой о предоставлении права использования программы для ЭВМ «САПФИР_95» для подготовки эффективных малогрупповых нейтронно-физических характеристик (констант) ячеек активных зон ВВЭР с целью их последующего использования в программных средствах «Rainbow-TPP» 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 малогрупповых 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;
- потвэльного 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.

3. 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 «Ханхикиви-1», Финляндия:

«Разработка материалов в состав концепции управления технологическими процессами АЭС «Ханхикиви-1».

Для АЭС «Руппур» (Бангладеш), «Аккую» (Турция):

«Изготовление из давальческого сырья Заказчика и поставка АСТД для Курской АЭС-2, блок № 1 и 2, АЭС «Аккую» блок № 1 и 2 и АЭС «Руппур» блок №1 и 2».

Для АЭС «ПАКШ-II» (Венгрия):

- «Разработка проектной документации по программно-техническому комплексу верхнего уровня АСРК для проекта блоков 5 и 6 АЭС «ПАКШ-II», Венгрия»;
- «Выполнение функционального анализа АЭС «ПАКШ-II»».

Для Тяньваньской АЭС (КНР):

- «Выполнение работ по концепции управления, функциональному анализу АЭС и проектированию человеческого фактора энергоблоков № 7 и № 8 Тяньваньской АЭС на стадии технический проект»;

Для АЭС «Эль-Дабаа» (Египет):

- «Выполнение работ по разработке концептуального документа «Концепция управления» для энергоблоков №№1-4 АЭС «Эль-Дабаа»;
- «Выполнение функционального анализа блочного пункта управления и резервного пункта управления для энергоблоков №№ 1-4 АЭС «Эль-Дабаа» на стадии проектной документации»;
- «Выполнение работ по анализу, проектированию и обоснованию учёта человеческого фактора в состав глав 3 и 13 предварительного отчёта по обоснованию безопасности (ПООБ) для энергоблоков №№ 1-4 АЭС «Эль-Дабаа»;
- «Оценка влияния дебриса и химического состава теплоносителя на процессы теплоотвода от стенки корпуса УЛР». Срок действия договора до 20.07.2022.

12.2 Научно-технические издания, публикации

В соответствии с планом работ на 2021 год отделом научно-технической информации были подготовлены к печати следующие издания.

ГОДОВОЙ ОТЧЁТ за 2020 год

Научное-техническое издание

УДК-621.039.577.056. ББК-31.46

ГОДОВОЙ ОТЧЁТ за 2020 – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2020. – 272 с.

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.

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 (23), 2021. – 94 с.

В двадцать третьем выпуске периодического рецензируемого научно-технического сборника «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок» продолжена публикация статей и материалов по актуальным направлениям тематики.

В рубрике ***«Информационные сообщения»*** коллектив ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» и редколлегия научно-технического сборника публикуют сообщение, посвященное памяти Э.С. Брянских, главного инженера Научно-исследовательского технологического института.

В рубрике «Дискуссионные вопросы развития атомной энергетики» вниманию читателей предлагается статья «Влияние типа парогенератора, его конструктивных и эксплуатационных характеристик на развитие атомной энергетики с двухконтурными энергоблоками ВВЭР». В статье обсуждается успешный отечественный опыт разработки и использования прямоточных парогенераторов при создании ЯЭУ транспортного назначения, а также неоправданный по мнению авторов консерватизм, проявляющийся в использовании стационарных двухконтурных энергоблоков с ВВЭР, оснащённых лишь одним типом крупногабаритных горизонтальных парогенераторов «полувекового конструктивного возраста». Отмечается, что, опираясь на выдающиеся отечественные достижения по разработке корабельных ЯЭУ с прямоточными парогенераторами, могут и должны создаваться новые энергоблоки АЭС, качественно превосходящие зарубежные проекты.

В рубрике ***«Стендовые испытания транспортных ЯЭУ»*** публикуется статья «Развитие программы «Военно-морские реакторы» Министерства энергетики США». В статье рассмотрены этапы реализации программы «Военно-морские реакторы» на период с 2010 по 2025 годы, приводятся данные о структуре, содержании и объёмах финансирования её направлений. Представленные в статье результаты могут быть полезными при разработке и планировании конструктивных, технологических и организационно-технических мероприятий, связанных с совершенствованием отечественной корабельной ядерной энергетики и береговой инфраструктуры, обеспечивающей безопасность эксплуатации, испытаний и отработки систем транспортных ЯЭУ, а также обращение с отработавшим ядерным топливом и снятым с эксплуатации оборудованием.

В рубрике ***«Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ»*** публикуется статья «Испытания деаэратора подпитки и борного регулирования, изготовленного для ЛАЭС-2» с результатами экспериментальных исследований деаэратора насадочного типа, предназначенного для дегазации теплоносителя, выводимого из первого контура АЭС с ВВЭР. Отмечается, что доработанные на основе расчётного теплогидравлического анализа и по результатам предварительных экспериментальных исследований новые деаэраторы подпитки и борного регулирования с омегообразными элементами с высокой деаэрационной эффективностью и гидродинамической устойчивостью способны функционировать на АЭС с ВВЭР во всех эксплуатационных режимах работы системы подпитки и борного регулирования.

В рубрике ***«Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования»*** публикуется статья «Совершенствование водно-химического режима контура жидкостного регулирования реактора ПИК». В статье предложен и обоснован перечень контролируемых показателей качества тяжёлой воды – теплоносителя тяжёловодного контура жидкостного регулирования реактора ПИК.

Предложен подход к обоснованию объёма химического контроля тяжёловодного теплоносителя контура жидкостного регулирования, приведены значения предельно допустимых концентраций для каждого контролируемого показателя водно-химического режима.

В рубрике ***«Исследование процессов при тяжёлых авариях на объектах атомной энергетики»*** публикуется статья «Окисление расплава системы «сверхстехиометрический кориум – нержавеющая сталь». В статье представлены результаты экспериментального исследования кинетики окисления расплава активной зоны и нержавеющей стали, рассмотрены особенности процесса и влияние параметров системы на скорость окисления расплава. Представленные в статье результаты актуальны для анализа возможности удержания расплава кориума в корпусе реактора при тяжёлой аварии на АЭС.

В рубрике ***«Влияние объектов атомной энергетики на окружающую среду»*** публикуется статья «Исследование прототипа промышленной индукционной печи с холодным тиглем конусной формы для остекловывания высокоактивных отходов», посвященная решению актуальной проблемы остекловывания высокоактивных отходов переработки облученного ядерного топлива реакторов ВВЭР-1000, содержащих благородные металлы, методом индукционной плавки в холодном тигле. Предложенные в работе экспериментально подтвержденные технические решения позволяют существенно повысить эффективность и продлить срок эксплуатации промышленной индукционной печи.

В рубрике ***«Информация для авторов»*** приведены ссылки на Правила подготовки и подачи материалов в редакцию для публикации в научно-техническом сборнике «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок».

Вып. № 2 (24), 2021. – 94 с.

В рубрике ***«Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ»*** публикуются статьи «Развитие алгоритмов комплекса программ САПФИР_95&RC для обоснования нейтронно-физических характеристик реакторов различных типов» и «Разработка, верификация и практическое использование расчётного кода КОРСАР/ЖМТ» с результатами работ по модернизации базовой версии комплекса программ «САПФИР_95&RC» и созданию специализированной версии расчётного кода КОРСАР/ЖМТ для расчёта нейтронно-физических и теплогидравлических характеристик реакторов различных типов.

В рубрике ***«Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования»*** публикуется статья «Влияние кинетики разложения гидразина на массоперенос продуктов коррозии в первом контуре транспортной ЯЭУ». Представленные в статье данные свидетельствуют о влиянии дозирования гидразина в теплоноситель первого контура транспортной ЯЭУ на увеличение выхода продуктов коррозии в теплоноситель, что способствует усилению массопереноса продуктов коррозии и повышению эффективности их удаления из контура на штатных средствах очистки.

В рубрике ***«Исследование процессов при авариях на объектах атомной энергетики»*** публикуются статьи, посвященные анализу факторов, влияющих на безопасность эксплуатации АЭС с ВВЭР в режиме нормальной эксплуатации и при возникновении аварийных ситуаций.

В статье «Исследование выделения водорода при нагреве образцов сталей с противокоррозионными защитными покрытиями в условиях, приближенных к аварийным», приведены результаты анализа образцов противокоррозионных покрытий, используемых для стальной защитной оболочки реактора ВВЭР-1200, на соответствие требованиям безопасности из-за выделения водорода при их нагревании в аварийных режимах.

В статье «Анализ возможности автоматизированной оценки величины течи парогенераторов на АЭС с ВВЭР по данным АСРК» обсуждается эффективность используемых на АЭС методов радиационного контроля для раннего обнаружения и корректной оценки величины течи теплоносителя первого контура в парогенераторы. Приводятся сведения о вновь разработанных отечественных радиометрах-спектрометрах, применимых для раннего обнаружения и оценки величины течи теплоносителя первого контура на АЭС с ВВЭР.

В рубрике ***«Влияние объектов атомной энергетики на окружающую среду»*** публикуется статья «О нормативном регулировании систем вентиляции, важных для безопасности атомных станций» с результатами анализа национальной системы нормативного регулирования систем вентиляции АЭС, важных для безопасности, а также международных подходов, применяемых при проектировании и эксплуатации вышеуказанных систем. Предложенные авторами статьи направления совершенствования существующих требований к системам вентиляции АЭС позволят гармонизировать отечественные и международные подходы к регулированию безопасности систем вентиляции АЭС и, как следствие, повысить безопасность за счёт проектных решений и организационных мер по их эксплуатации.

В рубрике ***«Информационные сообщения»*** представлены итоги ежегодного конкурса научных и инженерных работ, проводимого в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» ко дню рождения основателя института академика Анатолия Петровича Александрова, приведена краткая характеристика научных и инженерных работ, занявших призовые места.

Вып. № 3 (25), 2021. – 98 с.

В рубрике ***«Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ»*** публикуются статьи «Анализ замыкающих соотношений по межфазному трению для систем газ-ТЖМТ» и «Оптимизация параметров системы поддержания температуры воды на входе парогенератора энергоблока с реактором БРЕСТ-ОД-300» с результатами, актуальными для улучшения качества моделирования и оптимизации теплогидравлических характеристик реакторных установок с тяжёлым жидкометаллическим теплоносителем.

В рубрике ***«Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования»*** публикуется статья «Коррозионные испытания в тяжёлой воде алюминиевых сплавов экспериментальных каналов реактора ПИК» с результатами коррозионных испытаний образцов алюминиевых сплавов в тяжёлой воде в условиях, близких к эксплуатации бака тяжёловодного отражателя реактора ПИК. Практическая ценность представленных результатов заключается в обосновании возможности продления остаточного ресурса экспериментальных каналов в баке тяжёловодного отражателя реактора ПИК.

В рубрике ***«Исследование процессов при авариях на объектах атомной энергетики»*** публикуется статья «Требования к эффективности фильтра САОЗ, необходимые для

обеспечения надёжного теплоотвода от активной зоны водо-водяного ядерного реактора при авариях с потерей теплоносителя», посвященная проблеме обеспечения безопасности АЭС в аварийных режимах. На основе представленного анализа авторы отмечают, что для формирования обоснованных требований к фильтру САОЗ в части обеспечения надёжного охлаждения активной зоны в аварийных режимах с течами первого контура необходимо проведение отраслевой НИОКР с привлечением организаций Научного руководителя, Главного конструктора, Генерального проектировщика АЭС, разработчика ТВС и ряда других отраслевых институтов, обладающих достаточной экспериментальной базой.

В рубрике ***«Влияние объектов атомной энергетики на окружающую среду»*** публикуется статья «О целесообразности использования ядерного реактора ВБЭР-600 в составе многоцелевого атомно-опреснительного комплекса для решения проблем водоснабжения регионов Крыма и энергоснабжения западной части Краснодарского края». В статье приведено обоснование выбора ядерного энергетического реактора средней мощности ВБЭР-600 (проект разработки АО «ОКБМ Африкантов») в качестве энергоисточника многоцелевого атомно-опреснительного комплекса для обеспечения пресной водой регионов Крыма, а также обеспечения электрической и тепловой энергией западной части Краснодарского края. Предложенная в статье принципиальная схема вышеуказанного комплекса с использованием обратноосмотической технологии опреснения морской воды может быть использована при создании технического и рабочего проектов комплекса.

Вып. № 4 (26), 2021. – 87 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 химических наук, профессора Л.Н. Москвина с юбилеем – 85-летием со дня рождения и публикуют биографический очерк «Жизнь, посвященная успешному развитию атомной энергетики» о жизни и научной деятельности юбиляра.

В рубрике ***«Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ»*** публикуется статья «Обнаружение эффектов кавитации в главных циркуляционных контурах реакторной установки ВВЭР-1200 по сигналам датчиков пульсации давления» с результатами анализа причин и условий возникновения кавитационных явлений в главных циркуляционных контурах реакторной установки ВВЭР-1200. Представленные в статье результаты актуальны для разработчиков оборудования АЭС в части дополнительного анализа возможности работы оборудования в кавитационных режимах, а также для разработчиков программ проведения пуско-наладочных измерений в части планирования дополнительных измерений для выявления кавитационных явлений в главных циркуляционных контурах реакторной установки ВВЭР-1200.

В рубрике ***«Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования»*** публикуется обзорная статья «Оптическая спектрометрия и мультисенсорная потенциометрия с хемометрической

обработкой данных для онлайн мониторинга в атомной промышленности». Ссылаясь на актуальные литературные источники авторы отмечают, что применение современных хемометрических методов обработки аналитических сигналов позволяет получать достоверные данные о содержании контролируемых компонентов (актинидов, лантанидов, азотной кислоты) в технологических растворах, что существенно расширяет возможности аналитического контроля и мониторинга технологических процессов в ядерных технологиях.

В рубрике ***«Технологии создания систем контроля и управления ЯЭУ»*** публикуется статья «Разработка алгоритмов диагностирования технических объектов различного назначения», посвященная рассмотрению основных этапов разработки алгоритмов диагностирования сложных технических объектов, для которых предполагается создание систем диагностирования нового поколения. Авторы отмечают, что для современных объектов атомной энергетики, включающих ядерные энергетические установки различного назначения, использование методологии разработки алгоритмов диагностирования, представленной в статье, позволяет реализовать концепцию концерна «Росэнергоатом» «о переходе с технического обслуживания и ремонта по регламенту на техническое обслуживание и ремонт по техническому состоянию».

В рубрике ***«Исследование процессов при тяжёлых авариях на объектах атомной энергетики»*** публикуются статьи «Экспериментальное определение точки пространственной инверсии сосуществующих фаз расплава в системе U-Zr-Fe-O-B_4C» и «Определение теплопроводности корки, формирующейся на расплаве кориума при тяжёлой аварии на АЭС» с результатами исследования стадии тяжёлой аварии, связанной с формированием ванны расплава и изменением пространственного расположения двух несмешивающихся жидких фаз (металлической и оксидной) в базовой для тяжёлой аварии на АЭС системе U-Zr-Fe-O-B_4C и описанием нового метода определения теплопроводности оксидной корки, формирующейся на ванне расплава оксидно-металлического кориума, прототипного тяжёлой аварии на АЭС с ВВЭР. Приводимые в статьях результаты актуальны для расширения и уточнения баз данных, используемых для термодинамического моделирования фазовых равновесий в многокомпонентных системах расплава кориума на различных стадиях тяжёлой аварии на АЭС с водо-водяными реакторами и уточнения данных по теплопроводности, используемых для анализа различных сценариев внутрикорпусной стадии тяжёлой аварии на АЭС с водо-водяными реакторами.

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 учёной 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 2020 год – Сосновый Бор:

ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2021. – 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 основные 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 стендовых установок предприятия.

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ СОТРУДНИКОВ ФГУП «НИТИ им. А.П. АЛЕКСАНДРОВА»

Публикации в научно-технических периодических изданиях

1. Способы удаления отложений продуктов коррозии из первого контура легководных реакторов при переходных режимах их работы / Орлов С.Н., Змитродан А.А., Кривобоков В.В. // Теплоэнергетика. – 2021. – № 5. – С. 32-42.

2. Экспериментальное исследование высокотемпературного взаимодействия стали ЭП-823Ш со свинцовым теплоносителем / Альмяшев В.И., Хабенский В.Б., Крушинов Е.В., Витоль С.А., Котова С.Ю., Шевченко Е.В., Каляго Е.К., Сулацкий А.А., Стрижов В.Ф., Мосунова Н.А.// Теплофизика высоких температур. – 2021. – Т.59. – Вып. 5. – С. 792-769.

3. Моделирование окисления расплава активной зоны ядерного реактора при наличии оксидной корки на поверхности расплава / В.Б. Хабенский, В.И. Альмяшев, В.С. Грановский, А.А. Сулацкий, Е.В. Крушинов, С.А. Витоль, С.Ю. Котова, В.В. Гусаров // Журнал технической физики. – 2021. – Т.91. – Вып. 2. – С. 232

4. Автомодельность в задаче о ламинарном пленочном кипении на вертикальной поверхности, погруженной в большой объём жидкости / В.Б. Хабенский, А.А. Сулацкий // Журнал технической физики. – 2021. – Т.91. – Вып. 3. – С. 402-411.

5. Приемлемость замыкания топливного цикла ядерной энергетики / Е.П. Велихов, В.Д. Давиденко, А.В. Ельшин, А.А. Ковалишин, Е.В. Родионова, В.Ф. Цибульский // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез. – 2021. – Т.44. – Вып. 1. – С. 5-12.

6. Развитие программы «Военно-морские реакторы» Министерства энергетики США / В.А. Василенко, С.А. Петров // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: периодический рецензируемый научно-технический сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП НИТИ, 2021. – Вып. №1 (23). – С. 21-39.

7. Окисление расплава полностью окисленного кориума и нержавеющей стали / В.Б. Хабенский, В.С. Грановский, В.И. Альмяшев, Е.В. Крушинов, А.А. Сулацкий, С.А. Витоль, Е.К. Каляго, В.В. Гусаров // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: периодический рецензируемый научно-технический сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП НИТИ, 2021. – Вып. № 1 (23). – С. 62-80.

8. Развитие алгоритмов комплекса программ САПФИР_95&RC для обоснования нейтронно-физических характеристик реакторов различных типов / В.Г. Артемов, Л.М. Артемова, А.С. Иванов, А.С. Карпов, В.Г. Коротаев, А.Н. Кузнецов // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: периодический рецензируемый научно-технический сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП НИТИ, 2021. – Вып. № 2 (24). – С. 9-24.

9. Разработка, верификация и практическое использование расчётного кода КОРСАР/ЖМТ / С.Н. Волкова, Д.В. Бенедиктов, А.В. Вакарин, И.Г. Данилов, А.В. Мицкевич, А.О. Попов, А.В. Ярушина // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: периодический рецензируемый научно-технический сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП НИТИ, 2021.– Вып. № 2 (24). – С. 25-34.

10. Влияние кинетики разложения гидразина на массоперенос продуктов коррозии в первом контуре транспортной ЯЭУ / А.В. Жижин, А.А. Змитродан, С.Н. Орлов // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: периодический рецензируемый научно-технический сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП НИТИ, 2021. – Вып. № 2 (24). – С. 35-45.

11. Исследование выделения водорода при нагреве образцов сталей с противокоррозионными защитными покрытиями в условиях, приближенных к аварийным / О.В. Прохоркина, В.Н. Епимахов, А.И. Горшков, А.А. Амосов, В.А. Прокопенко, М.М. Зайцева // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: периодический рецензируемый научно-технический сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП НИТИ, 2021. – Вып. № 2 (24). – С. 46-58.

12. Анализ возможности автоматизированной оценки величины течи парогенераторов на АЭС с ВВЭР по данным АСРК / В.Б. Гайко, Ю.В. Крюков, Т.В. Ситникова // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: периодический рецензируемый научно-технический сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП НИТИ, 2021. – Вып. № 2 (24). – С. 59-80.

13. Анализ замыкающих соотношений по межфазному трению для систем газ-ТМЖТ / А.В. Мицкевич, А.О. Попов, А.С. Грицай // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: периодический рецензируемый научно-технический сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП НИТИ, 2021. – Вып. № 3 (25). – С. 9-22.

14. Экспериментальное определение точки пространственной инверсии сосуществующих фаз расплава в системе U-Zr-Fe-O / В.Б. Хабенский, В.И. Альмяшев, Е.Б. Шуваева, Е.В. Крушинов, С.А. Витоль, А.А. Сулацкий, С.Ю. Котова, В.В. Гусаров // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: периодический рецензируемый научно-технический сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП НИТИ, 2021. – Вып. № 3 (25). – С. 63-81.

15. Разработка алгоритмов диагностирования технических объектов различного назначения / В.А. Василенко, А.М. Панкин, И.А. Тутнов // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: периодический рецензируемый научно-технический сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП НИТИ, 2021. – Вып. № 4 (26). – С. 38-52.

16. Экспериментальное определение точки пространственной инверсии сосуществующих фаз расплава в системе U-Zr-Fe-O-B4C / В.Б. Хабенский, В.И. Альмяшев, А.В. Тимчук, Е.Б. Шуваева, Е.В. Крушинов, С.А. Витоль, А.А. Сулацкий, С.Ю. Котова, В.В. Гусаров // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: периодический рецензируемый научно-технический сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП НИТИ, 2021. – Вып. № 4 (26). – С. 53-66.

17. Определение теплопроводности корки, формирующейся на расплаве кориума при тяжёлой аварии на АЭС / В.Б. Хабенский, В.С. Грановский, В.А. Василенко, В.И. Альмяшев, Е.В. Крушинов, С.А. Витоль, А.А. Сулацкий, В.В. Гусаров // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: периодический рецензируемый научно-технический сборник / гл. ред. В.А. Василенко. – Сосновый Бор: ФГУП НИТИ, 2021. – Вып. № 4 (26). – С. 67-82.

12.3 Управление интеллектуальной собственностью

В 2021 году получены патенты на изобретения:

ПАТЕНТ № 2742076
«Способ определения теплопроводности корки кориума»

Авторы: Хабенский Е.В., Грановский В.С., Альмяшев В.И., Гусаров В.В., Крушинов Е.В., Витоль С.А.

ПАТЕНТ № 2743234
«Способ контроля плотности нейтронного потока»

Авторы: Струков М.А., Кутьин А.В., Малохатка В.В.

ПАТЕНТ № 274993
«Способ калибровки счётного канала реактиметра»

Авторы: Струков М.А., Кутьин А.В., Малохатка В.В.

ПАТЕНТ № 2753380
«Способ определения объёмной активности радионуклидов продуктов деления и активированных продуктов коррозии в водном теплоносителе первого контура ЯЭУ»

Авторы: Орлов С.Н., Кирпиков Д.А., Зверев А.А., Фоменков Р.В., Амосова О.А., Мысик С.Г.

ПАТЕНТ № 2755586
«Система дистанционного радиационного контроля»

Авторы: Смирнов В.Д., Киреев В.Ф., Козин М.И., Гайко В.Б., Иванов В.П., Лыков Д.В., Гордеев Е.В., Кондратьев В.А.

ПАТЕНТ № 2759318
«Способ контроля содержания радионуклидов йода в теплоносителе водо-водяных ЯЭУ»

Авторы: Епимахов В.Н., Мысик С.Г., Орлов С.Н., Подшибякин Д.С., Фоменков Р.В.

ПАТЕНТ № 2759541
«Способ настройки спектрометрической аппаратуры»

Авторы: Дашук С.П., Калининский В.С.

ПАТЕНТ № 2761989
«Пассивный каталитический рекомбинатор водорода и кислорода»

Авторы: Гурский В. С., Амосов А. А., Мельниченко А.Н., Яснев И.М.

ПАТЕНТ Болгарии № 67393 BG
«Устройство локализации кориума ядерного ректора водо-водяного типа»

Авторы: Грановский В.С., Альмяшев В.И., Гусаров В.В., Хабенский Е.В., Крушинов Е.В., Витоль С.А., Сулацкий А.А., Василенко В.А., Филин Р.Д., Пешев Е.П.

ПАТЕНТ Украины № 124940 UA
«Устройство локализации кориума ядерного ректора водо-водяного типа»

Авторы: Грановский В.С., Альмяшев В.И., Гусаров В.В., Хабенский Е.В., Крушинов Е.В., Витоль С.А., Сулацкий А.А., Василенко В.А., Филин Р.Д., Пешев Е.П.

Программы для ЭВМ/базы данных

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 2021620366
«База экспериментальных данных для верификации CFD-кодов, полученных по результатам исследований на стенде «3D»

Авторы: Климов П.Ю., Сазонтов А.С., Чёрный О. Д.

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 22021664615
«Многофункциональный редактор видеокадров для операционной системы Linux (МФР-Linux)

Авторы: Иконникова О.А., Калинин Д.В., Крицак С.В., Орехов М.Ю., Романова Т.В.

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 2021669757
«Теплогидравлический код КРАБ»

Авторы: Погорелов В.С., Костров И.В.

КОНКУРС НАУЧНЫХ И ИНЖЕНЕРНЫХ РАБОТ

В 2021 году на конкурс были представлены пять работ в номинации «Научные работы» и восемь работ в номинации «Инженерные работы». По результатам голосования были определены победители.

Лучшими научными работами за 2021 год признаны

I место

«Расчётное исследование процессов перемешивания в напорных камерах реакторов с помощью расчётного кода КОРСАР/CFD»

Авторы: Кастерин Д.С., Румянцев С.Н., Чепилко С.С., Юдов Ю.В. (ОТФИ)

«Оперативное расчётно-аналитическое сопровождение испытаний стендовой ЯЭУ»

Авторы: Калинин И.С., Костров И.В., Николаев А.И., Морозов К.С., Погорелов В.С. (ОДИ)

III место

«Исследование выгорания активной зоны в процессе её испытаний»

Авторы: Артемов В.Г., Бессонов Д.Ю., Иванов А.С. (ОНФИ) Баев М.Н., Червяков Р.В. (ОРБ)

Награждение сотрудников отдела ОТФИ, занявшего 1 место в конкурсе научных работ

Награждение сотрудников отделов ОНТИ и ОРБ, занявших 3 место в конкурсе научных работ

Лучшими инженерными работами за 2021 год признаны:

I место

«Создание и применение способов и технологической оснастки для выгрузки ОТВС...»

Авторы: Тригубов Д.И., Пукалов К.П., Ушатинский И.В., Михайличенко С.А. (ОКЭЭР)

II место

«Отработка режимов функционирования системы поглощения газа ...»

Авторы: Маликов Т.Б., Черный О.Д., Самусь С.В., Потапкин М.О., Девяткин М.В. (ОТФИ), Щербаков Е.Е., Прохоркина О.В., Горшков А.И., Мельниченко А.Н., Дронов Д.А. (ОХТИ)

III место

«Разработка, изготовление и внедрение автоматизированных стендов приготовления поверочных растворов для проведения метрологического обслуживания приборов химического контроля»

Авторы: Чистяков И.В., Коленчикова И.К., Киски С.А., Блинов С.В., Гордеев Е.В., Прохоркина О.В., Мельниченко А.Н., Лазовский А.П. (ОХТИ), Вишнякова Н.Б., Сытый А.А. (КО)

Награждение сотрудников отдела ОКЭЭР, занявших 1 место в конкурсе инженерных работ

Награждение сотрудников отделов ОТФИ и ОХТИ, занявших 2 место в конкурсе инженерных работ

В период с 17 августа по 17 сентября 2021 года во ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» проходил ***Молодёжный конкурс инженерных и научных проектов «От идеи к жизни»***.

В 2021 году впервые был проведен конкурс для молодых сотрудников, задачами которого стали поиск новых направлений развития в гражданской тематике, реализация творческого потенциала и развитие инновационной активности молодых сотрудников института, создание условий для их карьерного и личностного роста.

По условиям конкурса к рассмотрению принимались проекты, расширяющие перечень продукции гражданского назначения, как реализованные, так и в стадии разработки. Авторами могли выступать сотрудники института разных подразделений, численностью не более четырёх человек в команде. Возраст не менее половины участников коллектива не должен был превышать 35 лет. В течение месяца в секретариат жюри было подано 11 заявок.

В качестве экспертов на конкурсе присутствовали руководители научно-исследовательских отделов И.В. Мирошниченко, Ю.А. Мигров, А.В. Ельшин, Д.В. Лялюев. В состав жюри под председательством помощника генерального директора ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» О.Ю. Пыхтеева вошли главный инженер института А.А. Иванов, заместители руководителя департамента стратегического развития Д.А. Кирпиков и О.А. Иванов, учёный секретарь института А.Л. Дмитриев, начальник департамента экономики и планирования О.Р. Борисова, председатель профсоюзного комитета С.Н. Шишкин. Экспертов и жюри интересовали актуальность продукта, его преимущества перед аналогами, сфера применения и потенциальные потребители, объём инвестиции для создания и вывода его на рынок.

Победителями конкурса «От идеи к жизни» с проектом «Пассивный автокаталитический рекомбинатор водорода и кислорода с мозаичной структурой катализатора на основе сотовой керамики» стала команда отдела химико-технологических исследований» в составе: А.Н. Мельниченко, И.М. Яснева, А.Н. Максимовой и В.С. Гурского.

Участник конкурса «Инженерные работы» выступает перед членами жюри

12.4 Участие специалистов НИТИ в семинарах и конференциях

Конференции	Организатор. Место проведения	Дата
Конференция «Развитие культуры безопасности в ЯОК: результаты, вызовы и направления для изменений»	ООО «Консалтинговые технологии», Москва	19 марта
Практический тренинг: «Основные работы на сайте государственных закупок»	ОО «Аналитик-Тендер», СПб	23 марта
Практический семинар-консультации «Раздельный учёт в ГОЗ»	ООО «МЦРпК», Москва	1-2 апреля
Онлайн семинар «Практические вопросы казначейского и банковского сопровождения расчётов по госконтрактам и контрактам»	ООО «РФОП «Экономика и Управление», Москва	8-9 апреля
Семинар «Изменения законодательства в области технологического присоединения к электрическим сетям, тарифного и антимонопольного регулирования»	ПАО «Россети Ленэнерго», СПб	20-21 мая
Отраслевой семинар «Организация и ведение шифровальной работы в Госкорпорации «Росатом»	АНО ДПО «Техническая академия Росатома», г. Обнинск	25-27 мая
Консультационный семинар «Контролеры семейства REGUL RX00: функциональные характеристики, настройка и программирование в среде Epsilon LD»	ООО «Прософт-Системы», г. Екатеринбург	24-26 мая
Отраслевая практическая конференция «Отечественные ИТ-решения для импортозамещения предприятий и организаций атомной энергетики»	Госкорпорация «Росатом», Москва	11 июня
Научно-практический семинар «Актуальные вопросы учёта и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в организации»	АНО «ДПО «Техническая академия Росатома», г. Обнинск	7-11 июня
Научно-технический семинар «Изменения нормативного регулирования в области обеспечения единства измерений и порядок их внедрения в ЯОК Госкорпорации «Росатом»	ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров	09-10 июня
XVII научно-практическая конференция «Методы и средства технической защиты информации»	АНО ДПО «Техническая академия Росатома» г. Обнинск	22-25 июня
Конференция «Коллегиальные чтения 2021»	РОО «Санкт-Петербургская коллегия патентных поверенных»	23-25 июня
МНТК «Оптические методы исследования потоков 2021»	НИУ «МЭИ», Москва	28.06-02.07
Научно-практическая конференция «Современные требования к организации работ по ГОЗ при внедрении цифровых технологий и последних изменений в области менеджмента качества, каталогизации и метрологического обеспечения оборонной продукции»	ФГУП «ВНИИ «Центр», Москва	6-9 июля
X Международная школа по культуре безопасности ЯРОО «Развитие лидерства и сильной культуры для обеспечения безопасности на предприятиях атомной отрасли» (онлайн)	АНО ДПО «Техническая академия Росатома», г. Обнинск	5-9 июля
Отраслевая конференция по технической защите информации.	Госкорпорация «Росатом» ДФЗ, Москва	25-27 августа
9-я отраслевая научно-практической конференция «Обеспечение единства измерений в области использования атомной энергии»	АО «СНИИП», Москва	27-29 сентября
Стратегическая сессия руководителей организаций ядерного оружейного комплекса	Госкорпорация «Росатом» Управление по работе с персоналом и организационному развитию ЯОК	30 сентября

Конференции	Организатор. Место проведения	Дата
Научно-техническая конференция «Ядерное приборостроение. Актуальные вопросы разработки, производства эксплуатации. Метрология ионизирующих излучений»	АО «СНИИП», Москва	29.09-01.10.
Всероссийский симпозиум «Разделение и концентрирование в аналитической химии и радиохимии»	ФГБОУ ВО «КубГУ, г. Краснодар»	26.09-02.10.
Ежегодное совещание заместителей руководителей организаций и предприятий Госкорпорации «Росатом»	Госкорпорация «Росатом», Москва	13-14 октября
Всероссийский практический семинар « Эффективная работа и перспективы развития организаций электроэнергетики России»	ООО «Информационный портал «Управление ЖКХ», Москва	7-8 октября
Участие в тематическом семинаре «Надёжность военной техники. Система стандартов по надёжности военной техники, управление надёжностью изделий, программа обеспечения надёжности»	ФГУП «ВНИИ «Центр», Москва	21 октября
Молодежный день информирования с участием генерального директора Госкорпорации «Росатом» А.Е. Лихачевым	Госкорпорация «Росатом»	22 октября
XXVII международный ежегодный семинар «Спектрометрический анализ. Аппаратура и обработка данных»	АНО ДПО «Техническая академия Росатома», г. Обнинск	15-19 ноября
Ежегодный семинар для специалистов служб автоматизации и метрологических служб атомных электростанций, предприятий ядерного топливного цикла, проектных и научно-исследовательских организаций	ООО НПП «Элерон», Москва	23-25 ноября
Международный форум гражданского участия «Мы вместе»	Госкорпорация «Росатом», Москва	2-5 декабря
Отраслевое мероприятие Госкорпорации «Росатом» в рамках финала «Года науки и технологий» в Российской Федерации	Госкорпорация «Росатом», Москва	8-10 декабря

Международный форум гражданского участия «Мы вместе».
Интервью с генеральным директором Госкорпорации «Росатом» А.Е. Лихачевым

В период с 25 по 28 августа 2021 года в Санкт-Петербурге прошла IX международная научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов «КОМАНДА-2021».

В конференции приняли участие российские и зарубежные специалисты из конструкторских, проектных организаций, машиностроительных заводов, научно-исследовательских институтов, атомных электростанций. В этом году программа включала в себя 11 направлений работы, охватывающих широкий круг вопросов:

От нашего института в конференции принял участие научный сотрудник отдела химико-технологических исследований Орлов Сергей Николаевич с докладом «Сорбция ^{137}Cs на сплаве титана ПТ-3В» на основе работ, ранее выполненных в институте, и освещал актуальные вопросы по осаждению радионуклида ^{137}Cs на поверхности конструкционных материалов, контактирующих с радиоактивными веществами. Доклад был подготовлен группой авторов: С.Н. Орлов, Д.С. Подшибякин, Г.А. Змитродан, А.А. Цапко.

15 сентября 2021 года в Нижнем Новгороде собрались молодые атомщики со всей России. В течение двух дней там проходила XV научно-техническая конференция молодых специалистов Росатома «Высокие технологии атомной отрасли. Молодежь в инновационном процессе». Организатор и идейный вдохновитель мероприятия – филиал РФЯЦ ВНИИЭФ «Научно-исследовательский институт измерительных систем им. Ю.Е. Седакова» (НИИИС). Конференция включена в отраслевой «План проведения научных и научно-технических мероприятий Госкорпорации «Росатом» на 2021 год.

ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» на конференции представлял молодой специалист, инженер-электроник отделения динамических исследований Д.С. Терехов с презентацией «Мобильный управляющий комплекс (МУК) «Алиссум». Комплекс разработан с целью обеспечения автоматизированного управления и контроля состояния технологического и электротехнического оборудования различных объектов.

XV научно-техническая конференция молодых специалистов Росатома.
Тематические круглые столы, посвященные стратегии развитию Госкорпорации «Росатом»

13

13. Гражданская оборона и защита от чрезвычайных ситуаций

С.А. Шестопалов

Защита работников и территории ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» от чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера – это комплекс мероприятий, направленных на предупреждение, снижение риска возникновения, уменьшение ущерба и окончательную ликвидацию последствий ЧС.

Чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2021 году, как и в 2020 году, на территории промплощадки ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» не произошло.

В отчётный период на объектах Института нарушений в работе, классифицируемых как аварии, не произошло, погибших и пострадавших за этот период не было.

В 2021 году в результате проведенного комплекса организационных и технических мероприятий пожаров на территории промышленной площадки, объектах производственного и социального назначения института не допущено.

В 2021 году природных катаклизмов (природных пожаров, наводнений, землетрясений и других опасных природных явлений) в районе нахождения института не было.

В институте актуализирован «План действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

Работа по предупреждению ЧС природного и техногенного характера велась по следующим основным направлениям:

1. Радиационная и ядерная безопасность.
2. Промышленная и пожарная безопасность.
3. Экологическая безопасность.

Обеспечение радиационной и ядерной безопасности

В основе мониторинга и прогнозирования ЧС в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» по радиационным параметрам лежит осуществление радиационного контроля, задачей которого является получение информации о радиационной обстановке на стендах-прототипах и на территории промплощадки института – санитарно-защитной зоне наблюдения (СЗН), зоне

наблюдения (ЗН) и окружающей среде во всех режимах работы стендов, включая аварийные, а также с учётом состояния других радиационных объектов, входящих в ЗН института.

Непрерывный контроль радиационной обстановки на стендовых установках ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» проводится с помощью стационарных систем радиационного контроля типа КМК-1, информационно-управляющей системы многоцелевого назначения ИУС МН-08 и установки дозиметрического и технологического радиационного контроля, периодический – с помощью комплекта носимых приборов типа МКС-АТ1117М, ДКС – АТ1121, МКС-01Р и др.

Контроль за нераспространением радиоактивных веществ за пределы зон контролируемого доступа и за территорию института осуществляется с помощью установок контроля персонала и транспорта типа РЗБ-04-04 при пересечении ими границ зон.

Индивидуальные дозовые нагрузки на население от выбросов за последние пять лет отличаются незначительно. Индивидуальная эффективная доза облучения населения от эксплуатации наземных стендов-прототипов транспортных ядерных энергетических установок ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» не превысила $6{,}60 \cdot 10^{10}$ Зв.

Обеспечение промышленной и пожарной безопасности

В целях профилактики ЧС и повышения устойчивости функционирования института проводятся следующие организационные и инженерно-технические мероприятия:

- ТО и ППР установок противопожарной защиты в основных производственных и административных зданиях;
- 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.

Обеспечение экологической безопасности

Объёмная активность аэрозолей в атмосферном воздухе в точке контроля определяется по результатам измерений аэрозольного фильтра, через который производится отбор проб воздуха. Контроль воздействия стендовых установок на окружающую среду при их нормальной эксплуатации и в случае ЧС осуществляется непрерывно с помощью АСКРО ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» и АСКРО филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Ленинградская атомная станция», измеряющей мощность дозы фотонного излучения в 16 точках совместных с НИТИ СЗЗ и ЗН. Информация отображается на экранах мониторов и распечатывается на бумажных носителях в виде протокола.

В 2021 году происшествий, связанных с загрязнением окружающей среды, не было.

В соответствии с планами и графиками на 2021 год проведены все запланированные тренировки по локализации и ликвидации аварий (аварийных ситуаций) на опасных производственных объектах при срабатывании системы аварийной сигнализации (САС), проверке системы оповещения, практические противопожарные тренировки.

Органы управления функциональной подсистемы Госкорпорации «Росатом» объектового уровня

Координационным органом управления объектового звена РСЧС института функциональной подсистемы объектовой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ОСЧС) Госкорпорации «Росатом» является комиссия по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности института (КЧСиОПБ). Председатель КЧСиОПБ – генеральный директор института.

Постоянно действующим органом управления института является Отдел по чрезвычайным ситуациям.

Органом повседневного управления ОСЧС является дежурно-диспетчерская служба Института (далее – ДДС) – основной орган оперативного реагирования на возможные чрезвычайные (нештатные) ситуации, а также информационного обеспечения. В институте сформировано и введено круглосуточное оперативное дежурство, которое обеспечивается персоналом в составе пяти человек.

Силы и средства функциональной подсистемы Госкорпорации «Росатом» объектового уровня

Силы предупреждения – силы, осуществляющие наблюдение и контроль за состоянием и обстановкой на ПОО, прилегающих к ним территориях, состоянием окружающей среды.

Силы аварийного реагирования – штатные и нештатные аварийно-спасательные формирования, другие подразделения и их дежурный персонал, предназначенные для оперативного реагирования и проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ.

Организационная структура, состав сил и средств объектовой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ОСЧС) и их оснащение определяется руководством ФГУП «НИТИ имени А.П. Александрова», исходя из возложенных на них задач. В состав сил и средств объектового звена ОСЧС ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» входят: нештатное АСФ «САБ» – 1 формирование, нештатные формирования ГО – 21 формирование.

Для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ по ликвидации последствий нештатных ситуаций (аварий, ЧС), которые могут возникнуть на ядерно- и радиационно опасных объектах института, создано нештатное аварийно-спасательное формирование «Специальная аварийная бригада».

Для отработки и проверки готовности НАСФ «Специальная аварийная бригада» и НФГО к действиям в течении 2021 года проведены учения, тренировки и занятия, в которых задействован личный состав нештатного АСФ «САБ» и 100 % персонала НФГО.

В институте создан резерв материальных, медицинских и финансовых ресурсов для ликвидации ЧС природного и техногенного характера.

Подготовка руководящего состава, специалистов органов управления СЧСО, работников института в 2021 году была организована в соответствии с требованиями федеральных нормативных документов, организационно-методических указаний Госкорпорации «Росатом».

При приёме на работу новых сотрудников сотрудниками отдела по ЧС проводится инструктаж с отражением данных в «Журнале регистрации вводного инструктажа по ГО и ЧС».

В институте разработаны, утверждены генеральным директором и введены в действие

рабочие программы обучения личного состава нештатного АСФ и НФГО института и рабочие программы обучения рабочих и служащих института по вопросам ГО и действиям в чрезвычайных ситуациях.

В институте создано 97 групп подготовки персонала, сформировано 22 группы подготовки личного состава НФГО под руководством командиров формирований.

В 2021 году подготовку прошли все сотрудники института (100 %).

В институте внедрены и активно используются электронные учебные пособия и обучающие программы по вопросам безопасности жизнедеятельности с доступом с каждого автоматизированного рабочего места сотрудника. Занятия с работниками института проводят руководители учебных групп института, с личным составом НФГО – руководители НФГО. У руководителей учебных групп в наличии утверждённые планы и необходимые материалы для проведения занятий.

Учения и тренировки, проведённые в 2021 году

В 2021 году в институте организовано и проведено ряд учений и тренировок для отработки действий персонала при аварийных ситуациях.

11.02.2021 в институте проведены первый и второй этапы совместного командно-штабного учения на тему: «Действия руководства, персонала института и взаимодействующих органов ФСБ России и МВД России при нападении на охраняемый объект и ликвидации последствий радиационной аварии и пожара».

В ходе проведения первого этапа:

– обеспечен переход функционирования системы физической защиты из штатного

Беспилотный комплекс аэро-гамма съёмки на базе промышленного квадрокоптера DJI

НФГО «ЗСвР» проводится радиационная разведка

Дезактивация РТК «Тайфун» АСФ АО «АТЦ Росатома» ликвидации последствий ЧС.

режима функционирования в режим функционирования при ЧС;

– отработана вводная: «Действия персонала института, сил охраны и взаимодействующих органов ФСБ РФ и МВД РФ при обнаружении в воздушном пространстве охраняемой территории БПЛА»;

– проведён эксперимент по применению БПЛА, оборудованных видеокамерами и тепловизором, при поиске нарушителей, проникших (покинувших) территорию охраняемого объекта.

Заключительная вводная второго этапа: «Проведение санитарной обработки л/с и техники в подвижном пункте АО «АТЦ Росатома». На территории КМС НИТИ был развёрнут подвижный пункт санитарной обработки. Силами группы ДОРО АО «АТЦ Росатома» проведена специальная обработка техники и санитарная обработка персонала, выводимого из зоны РЗ.

В апреле службы института приняли участие во всероссийском командно-штабном учении (КШУ). Тема всероссийского КШУ – «Обеспечение безопасного пропуска весеннего половодья и паводков, защита объектов экономики от природных пожаров и отработка вопросов ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного характера».

С органами местного самоуправления МО Сосновоборский ГО ЛО было налажено информационное взаимодействие. Проверена готовность сил и средств Ленинградской областной подсистемы РСЧС, предназначенных для ликвидации ЧС в паводковый период и пожароопасный сезон 2021 года. В ходе учений отработано информационное и практическое взаимодействие с территориальными органами МЧС России. В реальном времени организовано взаимодействие ДДС института, ЦПУ СФЗ института и диспетчера СПСЧ № 3 Специального отдела № 1 ФГКУ «Специальное управление ФПС № 50» МЧС России.

Отработка действий персонала института и л/с СПСЧ № 3 при возникновении пожара и эвакуации персонала из здания с массовым пребыванием людей

Противопожарная служба ГО института по ликвидации лесного пожара

Соревнования пожарных расчётов ДПД и звеньев НФГО

21.05.2021 проведён третий этап КШУ-2021, тема – «Отработка действий персонала института и л/с СПСЧ № 3 при возникновении пожара и эвакуации персонала из здания с массовым пребыванием людей».

02.06.2021 проведён четвёртый этап КШУ-2021, «Соревнования пожарных расчётов ДПД и звеньев НФГО «Санитарная дружина института». На пожарном полигоне СПСЧ № 3 проведены соревнования по пожарно-прикладному спорту среди формирований ГО института. В рамках подготовки к штабной тренировки по ГО по теме – «Организация и ведение гражданской обороны на территории Российской Федерации» в институте 04.10.2021 проведена объектовая тренировка на тему – «Действия «Противопожарной службы» ГО института по ликвидации лесного пожара».

06.10.2021 в рамках проведения штабной тренировки по ГО по теме – «Организация и ведение гражданской обороны на территории Российской Федерации» были отработаны учебные задачи и проведены объектовые тренировки. ДДС института обеспечило информационное взаимодействие с оперативным дежурным ЧУ «СКЦ Росатома» и ЕДДС МО Сосновоборский городской округ ЛО.

Практически отработано оповещение и сбор комиссии по ЧСиОПБ института. Руководители служб ГО приступили к выполнению мероприятий в рамках введения в действие «Плана ГО института». ДДС Института были отработаны учебные задачи в соответствии с поступающими сигналами. По результатам отработки установлено, что 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 2021 году позволил решать задачи, направленные на предупреждение чрезвычайных ситуаций и обеспечение готовности к ликвидации последствий в случае их возникновения.

Запланированные на 2021 год мероприятия по развитию и совершенствованию объектовой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в области защиты персонала и территории ФГУП «НИТИ имени А.П. Александрова», предупреждения и ликвидация ЧС, смягчению их последствий выполнены.

14

14. Работа по подготовке и развитию персонала под стратегические задачи института

А.В. Иванова

В 2021 году отдел оценки и развития персонала выполнял задачи по подготовке и развитию персонала под стратегические задачи института, осуществлял организацию оценки и аттестации сотрудников, проведения работ по наставничеству.

Организовано обучение по повышению квалификации, переподготовке и подготовке по профессии для 485 сотрудников института, из них 120 руководителей, 193 специалиста и 172 рабочих. 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. Институт в целях подготовки квалифицированных кадров в ВУЗах Санкт-Петербурга заключил 2021 году пять целевых договоров. Всего по договорам с НИТИ для получения высшего образования прошли обучение 19 сотрудников института.

В целях подбора и адаптации персонала ООРП в 2021 году проведена работа по организации производственной и преддипломной практики 57 учащимися высших и средних профессиональных образовательных организаций. Привлечено к работе по наставничеству 40 сотрудников.

Согласно плану по профориентационной работе, по взаимодействию с центром развития творчества, ВУЗами и СУЗами сотрудники НИТИ приняли участие в мероприятиях совместно с МДОУДО ЦРТ (центр развития творчества):

1. Региональный этап ***Всероссийского конкурса исследовательских работ имени В.И. Вернадского*** по трём курсам:
    - ***«Я исследователь»*** – 1-4 классы;
    - ***«Тропа открытий»*** – 5-8 классы;
    - ***«Исследования. Вернадский»*** – 9-11 классы.

2. Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ имени Д.И. Менделеева

Участники конкурса – учащиеся с 1 по 11 класс представили научно-исследовательские работы по секциям:

- естественно-математическая секция;
- экономика и промышленность;
- исследования и исследовательские проекты в сфере промышленности и технологий производства;
- химия;
- инженерная секция;
- социальная и гуманитарная секции;
- эколого-географическая;
- биология и сельское хозяйство;
- экология.

Школьники из городов Сосновый Бор, Санкт-Петербург, Выборг и Кириши защитили свои проекты и получили заслуженные награды.

Для участия в ежегодной отраслевой программе признания *«Человек года Росатома»* по итогам 2020 года от института подано две заявки в следующих номинациях:

1. Специальная номинация *«Эффективность»* – сотрудники УЭС:
    - Лукконен В. В. – начальник отдела;
    - Быковский В. И. – ведущий инженер-электроник;
    - Терещенко Г. В. – инженер- электроник 1 категории;
    - Прокошин Н.П. – инженер- программист 2 категории.

Команда заняла 3 место во II туре /Дивизиональный тур/.

2. Общекорпоративная номинация *«Независимый контроль и аудит»*

Миронова Е.С. – специалист 1 категории СВКиА.

Заняла 2 место во II туре (Дивизиональный тур), прошла на III тур.

Поощрения, награды

Список сотрудников, награждённых в 2021 году

Нагрудным знаком «Академик И.В. Курчатов» 2 степени

Ефимов Владимир Казимирович	заместитель начальника отдела по экспериментальным исследованиям
Орленков Игорь Сергеевич	главный научный сотрудник

Нагрудным знаком «Академик И.В. Курчатов» 3 степени

Витоль Сергей Александрович	заведующий лабораторией
Грановский Владимир Семенович	ведущий научный сотрудник
Ельшин Александр Всеволодович	начальник отдела
Юдов Юрий Васильевич	ведущий научный сотрудник /с возложением обязанностей руководителя группы /

Нагрудным знаком «За заслуги перед атомной отраслью» 2 степени

Кононов Виктор Анатольевич	главный инженер отделения

Нагрудным знаком «За заслуги перед атомной отраслью» 3 степени

Пятаев Владимир Николаевич	начальник отдела

Нагрудным знаком «За обеспечение безопасности в атомной отрасли» 2 степени

Евдокимов Владимир Александрович	начальник службы безопасности

Нагрудным знаком «За вклад в развитие ветеранского движения»

Метелев Николай Иванович	инженер
Панасюга Юрий Константинович	инженер 1 категории
Сенько Юрий Васильевич	инженер 1 категории

Почетной грамотой Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»

Антонова Наталья Вячеславовна	ведущий специалист
Демин Сергей Александрович	ведущий инженер
Еремин Вячеслав Алексеевич	ведущий инженер
Ждамиров Сергей Владимирович	ведущий инженер
Зарубин Евгений Валентинович	начальник группы
Исанов Эдуард Рафикович	ведущий инженер
Коровушкин Андрей Витальевич	ведущий инженер
Лытко Вадим Михайлович	ведущий специалист по стратегическому развитию
Пименов Георгий Владимирович	слесарь-ремонтник
Рипский Дмитрий Леонардович	начальник лаборатории
Смирнов Александр Петрович	ведущий инженер по качеству

Благодарностью генерального директора Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»

Абдуллин Ильсур Мансурович	слесарь-ремонтник
Аганин Валерий Евгеньевич	инженер 1 категории
Атаманюк Алексей Викторович	машинист насосных установок
Борисюк Виталий Петрович	заместитель начальника службы безопасности - начальник отдела по внедрению и эксплуатации инженерно-технических средств физической защиты
Воронин Михаил Юрьевич	ведущий экономист
Головлева Марина Владимировна	заведующий хозяйством
Гордеев Владимир Анатольевич	начальник смены
Долгов Андрей Владимирович	водитель автомобиля
Драгун Александр Викторович	ведущий инженер /по управлению ядерной энергетической установкой /
Звонцов Александр Владимирович	начальник лаборатории
Иванов Евгений Александрович	оператор экспериментальных стендов и установок
Иванов Сергей Алексеевич	инженер
Исаев Егор Григорьевич	ведущий экономист
Каранкевич Дмитрий Иванович	инженер 1 категории
Каранкевич Ирина Борисовна	начальник группы
Козлов Евгений Юрьевич	инженер-технолог 2 категории
Колесникова Наталья Анатольевна	уборщик производственных и служебных помещений
Кондырев Алексей Евгеньевич	заместитель начальника отдела - начальник группы
Концевов Дмитрий Александрович	ведущий инженер
Корноухова Татьяна Алексеевна	начальник отдела
Котенков Игорь Вячеславович	заместитель главного инженера по технической безопасности - начальник ОНЯРПБ
Кузьмин Павел Александрович	инженер 1 категории
Наседкин Александр Владиславович	инженер 1 категории
Николаев Антон Иванович	инженер 1 категории
Новокшонов Сергей Анатольевич	мастер
Пименов Андрей Владимирович	слесарь-ремонтник
Репин Владимир Андреевич	инженер-электроник 1 категории
Рогов Роман Викторович	слесарь по контрольно-измерительным приборам и автоматике
Сазонтова Мария Валерьевна	инженер 3 категории
Сергеев Сергей Александрович	инженер 2 категории
Слуцкий Владислав Михайлович	заведующий складом

Федоров Дмитрий Владимирович	инженер 3 категории
Фомин Борис Геннадьевич	оператор экспериментальных стендов и установок
Хозичев Александр Адольфович	оператор экспериментальных стендов и установок
Цапко Анастасия Александровна	инженер 3 категории
Чечель Александр Анатольевич	слесарь-ремонтник
Ярмарков Александр Петрович	электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования

Присвоено звание «Ветеран атомной энергетики и промышленности»

Башкирцев Сергей Геннадьевич	электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования
Борисов Роман Валерьевич	заместитель начальника отделения
Василиогло Дмитрий Николаевич	инженер 3 категории
Глухова Ирина Сергеевна	инженер 2 категории
Грачев Виктор Иванович	начальник отдела
Громов Роман Николаевич	начальник смены
Иванова Наталья Владимировна	монтажник радиоэлектронной аппаратуры и приборов
Карпов Виктор Алексеевич	начальник отдела
Красикова Татьяна Андреевна	инженер 1 категории
Кряквин Александр Валентинович	оператор экспериментальных стендов и установок
Лемешева Наталия Владимировна	техник 1 категории
Лупашков Геннадий Анатольевич	начальник группы
Никифорова Марианна Станиславовна	ведущий бухгалтер
Рукин Игорь Викторович	начальник участка
Русов Георгий Данилович	слесарь-ремонтник
Сафонов Виктор Олегович	слесарь-ремонтник
Сидорчук Анатолий Александрович	ведущий инженер
Соболев Андрей Юрьевич	электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования
Соболева Валентина Дмитриевна	маляр
Сулоева Марина Анатольевна	техник 1 категории
Целовальников Михаил Валериевич	инженер 1 категории
Шалыгин Виктор Васильевич	электромонтер по обслуживанию электрооборудования

Получили статус «Заслуженный пенсионер отраслевого значения»

Алешина Наталья Ильинична	инженер 1 категории
Беляков Валерий Александрович	заместитель начальника отдела - начальник группы разработки и испытаний средств измерений

Борисенко Ирина Николаевна	инженер 1 категории
Василенко Лариса Григорьевна	кладовщик
Гаврилова Мария Дмитриевна	экономист 2 категории
Гапунич Владимир Владимирович	начальник службы
Дьяченко Наталья Михайловна	кладовщик
Ефимова Валентина Адамовна	бухгалтер 2 категории
Иванов Валерий Анатольевич	старший оперативный дежурный
Ильин Владимир Георгиевич	начальник отдела
Казачковский Анатолий Алексеевич	инженер 1 категории
Кириллов Александр Николаевич	начальник службы
Клепинин Евгений Вениаминович	ведущий инженер по качеству
Клишов Валерий Павлович	ведущий инженер
Маликова Людмила Михайловна	специалист 1 категории
Мочалова Татьяна Леонидовна	техник-конструктор 1 категории
Новикова Тамара Борисовна	инженер по качеству 1 категории
Орехова Валентина Ивановна	электромонтер по ремонту аппаратуры, релейной защиты и автоматики
Панфилов Владимир Филиппович	главный инженер отделения
Позднякова Наталья Николаевна	ведущий специалист
Просвирнин Александр Анатольевич	слесарь по контрольно-измерительным приборам и автоматике
Саберзянов Владимир Хасанович	начальник группы
Сидорчук Алексей Николаевич	ведущий инженер-конструктор
Шейгусова Галина Егоровна	начальник группы
Янчук Виктор Кириллович	начальник группы

Статус «Почетный пенсионер предприятия атомной отрасли»

Давыденко Виктор Петрович	электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования
Елисеев Георгий Евгеньевич	инженер 1 категории
Еремин Вячеслав Алексеевич	ведущий инженер
Корзун Тамара Константиновна	ведущий инженер
Мысик Игорь Григорьевич	инженер 1 категории
Ордина Лидия Владимировна	повар
Осадчий Владимир Степанович	дежурный по базе отдыха
Осташкова Лариса Георгиевна	техник 1 категории
Скорупская Светлана Владимировна	уборщик производственных и служебных помещений
Талалаева Татьяна Михайловна	инженер
Терентьева Вера Павловна	заместитель заведующего производством
Токарева Ирина Викторовна	экономист 1 категории

Благодарностью губернатора Ленинградской области

Алешин Александр Михайлович	начальник группы

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АЗ – аварийная защита
а.з. – активная зона
АПЛ – атомная подводная лодка
АРМ – автоматизированное рабочее место
АС – аварийная сигнализация
АСКРО – автоматизированная система контроля радиационной обстановки
АСРК – автоматизированная система радиационного контроля
АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом
АЭС – атомная электростанция
БД – блок детектирования
ВВЧ – вода высокой чистоты
ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор
ВРК – внутриреакторный контроль
ВХР – водно-химический режим
ЖМТ – жидкометаллический теплоноситель
ЖРО – жидкие радиоактивные отходы
ЗО – защитная оболочка
ИВК – измерительно-вычислительный комплекс
ИК – измерительный канал, испытательный комплекс
ИМ – исполнительный механизм
КД – конструкторская документация
КГО – контроль герметичности оболочек твэлов
КСУ ТС – комплексная система управления техническими средствами
МК – мобильный комплекс
ММ – математическая модель
НФИ – нейтронно-физические измерения
НФХ – нейтронно-физические характеристики
ОТВС – облученная (отработавшая) тепловыделяющая сборка

ОЯТ – отработавшее ядерное топливо
ПВ – питательная вода
ПГ – парогенератор
ПИН – пусковой источник нейтронов
ПК – программный комплекс
ПМТ – полномасштабный тренажёр
ПО – программное обеспечение
ППУ – паропроизводящая установка
ПС – предупредительная сигнализация
ПТК – программно-технический комплекс
ПУ – пульт управления
РАО – радиоактивные отходы
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
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
ТК – транспортный контейнер
ТТК – теплотехнический контроль
ТФИ – теплофизические исследования
УСД – универсальный стенд дефектации
УЛР – устройство локализации расплава
ФТО – функциональный тренажёр обучения
ХОЯТ – хранилище отработавшего ядерного топлива
ЦНПК – циркуляционный насос первого контура
ЦНР – циркуляционный насос расхолаживания
ЦПУ – центральный пульт управления
ЭТВС – экспериментальная тепловыделяющая сборка
ЯБ – ядерная безопасность
ЯЭУ – ядерная энергетическая установка