Федеральная ядерная организация
Федеральное государственное унитарное предприятие

«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ имени А. П. Александрова»

ГОДОВОЙ ОТЧЁТ
2018 год

г. Сосновый Бор
Ленинградской обл.

ФЕДЕРАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

“НИТИ им. А.П. Александрова”

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

ГОДОВОЙ ОТЧЁТ 2018

УДК-621.039.577.056
ББК-31.46

Редакционная комиссия:

В.А. Василенко (главный редактор)
Ю.В. Крюков
В.Р. Аксёнов
О.И. Косульников

Компьютерная вёрстка:

Е.В. Куликова, П.С. Суворов

Фото:

Д.С. Веденин

Ответственный за выпуск отчёта:

Ю.В. Крюков

Пятнадцатое официальное издание годового отчёта ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» включает в себя основные результаты научно-технической и производственной деятельности института за 2018 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», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Обращение генерального директора ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».....6

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....13

1.1 Административная структура.....14

1.2 Основные научно-технические подразделения.....15

1.3 Кадровый состав.....16

2. ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ НА СТЕНДАХ-ПРОТОТИПАХ ТРАНСПОРТНЫХ ЯЭУ.....17

2.1 Испытания на стенде КВ-1.....18

2.2 Работы, проводимые на стенде КВ-2.....19

2.3 Работы, проводимые на стенде КМ-1.....20

3. ДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, СОЗДАНИЕ ТРЕНАЖЁРОВ.....21

3.1 Динамические исследования в 2018 году.....22

3.2 Полномасштабный и функциональный тренажёры для подготовки оперативного персонала универсального атомного ледокола проекта 22220.....24

3.3 Специальное программное обеспечение универсального сенсорного дисплейного пульта управления.....28

3.4 Адаптация программного комплекса «КРАБ» в ПК «ТЕРМИТ».....31

3.5 Разработка математической модели динамики стенда «Каскад» в составе ПК КРАБ-Р.....34

3.6 Расчёт распределения температур в активной зоне реактора с жидкометаллическим теплоносителем.....35

3.7 Полигон для проектирования и отладки алгоритмов управления техническими средствами технологических систем с использованием расчётно-моделирующего комплекса.....38

3.8 Развитие программно-технического комплекса «Автоматизированное рабочее место инженера-механика» 42

3.9 Авторское сопровождения системы радиационного контроля Белоярской АЭС 43

4. НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 46

Нейтронно-физические исследования 47

4.1 Построение конечно-разностных уравнений для нахождения распределения нейтронов и их ценности в гетерогенном реакторе с несимметричными ячейками 47

4.2 Подготовка и проведение контрольного физического пуска Критического стенда «СКИФ» 50

Теплофизические исследования 53

4.3 Научно-исследовательские разработки ОТФИ 53

4.4 Концепция валидации РК КОРСАР на основе анализа неопределенностей 54

4.5 Экспериментальные исследования пространственных процессов гидродинамики на стенде «3D» 66

4.6 Модификация и развитие расчётного кода КОРСАР/CFD 77

5. ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И РАДИОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ....82

5.1 Основные результаты исследований по стендовой тематике 83

5.2 Разработка радиохимических технологий 86

5.3 Радиоэкологическая обстановка в зоне воздействия ядерных энергетических установок института 90

6. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ НА СТЕНДАХ-ПРОТОТИПАХ ТРАНСПОРТНЫХ ЯЭУ 104

7. ИССЛЕДОВАНИЯ ТЯЖЁЛЫХ АВАРИЙ 110

7.1 Исследование особенностей существования двухжидкосной структуры ванны расплава кориума с коркой между лёгким металлом и субокисленным расплавом состава С-30 111

7. 2 Исследование особенностей существования трёхжидкостной структуры ванны субокисленного расплава кориума с минимальной температурой расплава легкого металла на поверхности корки 114

7.3 Исследование кинетики окисления трёхслойной структуры ванны субокисленного расплава кориума с поверхностной коркой и наплавленным на ней слоем металла 117

7.4 Исследование фазовых равновесий в системе U-Zr-Fe-O для термодинамического моделирования состояний топливных осколков и продуктов деления в многокомпонентных системах расплава кориума на разных стадиях тяжёлой аварии АЭС Фукусима-Дайити 120

8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ И ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 127

8.1 Проведение исследований в обеспечение повышения радиационной и экологической безопасности при эксплуатации транспортных ЯЭУ 128

8.3 Направления деятельности отдела по Чрезвычайным Ситуациям 132

9. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ 145

9.1 Видеокадры контроля технологических защит и блокировок Белорусской АЭС 147

9.2 Разработка концепции управления АЭС Эль-Дабаа 152

10. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 160

11. ЭНЕРГОМЕХАНИЧЕСКОЕ ХОЗЯЙСТВО 165

11.1 Управление энергоснабжением 166

11.2 Отдел главного механика 171

12. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ 173

12.1 Международное сотрудничество..... 174

12.2 Участие специалистов НИТИ в совещаниях, семинарах, конференциях, выставках, молодёжных форумах Госкорпорации «Росатом»..... 177

12.3 Научно-технические издания, публикации..... 187

12.4 Конкурсы научных и инженерных работ..... 200

13. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ.....203

13.1 Основные итоги деятельности института за 2018 год 204

13.2 Деятельность профсоюзной организации НИТИ в 2018 году 209

13.3 Общественная жизнь предприятия 213

13.4 Поощрения, награды 219

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ 225

ОБРАЩЕНИЕ ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА

Уважаемые коллеги!

В 2018 году научными и производственными подразделениями ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» выполнен большой объём работ по подготовке, обеспечению и проведению испытаний и исследований на экспериментальных стендах института, созданию тренажёрных и обучающих систем, теплофизическим, нейтронно-физическим, химико-технологическим и метрологическим исследованиям и разработкам по обоснованию и обеспечению безопасности действующих и строящихся объектов использования атомной энергии как в Российской Федерации, так и за её пределами.

Продолжались работы по реконструкции стенда-прототипа КМ-1 для

испытаний перспективных транспортных ядерных энергетических установок.

На стенде КВ-2 велись работы по подготовке к выводу из эксплуатации ЯЭУ стенда.

На стенде КВ-1 продолжены испытания и исследования перспективной элементной базы транспортной ЯЭУ по утверждённым программам и методикам.

Проводились работы по метрологическому обеспечению испытаний на стенде КВ-1 и метрологическому обслуживанию средств измерений стенда КВ-2.

В рамках ресурсных испытаний на стендах-прототипах транспортных ЯЭУ в институте велись исследования для повышения радиационной и экологической безопасности при эксплуатации объектовых ЯЭУ транспортного назначения.

В 2018 году, в соответствии с Федеральным законом 412-ФЗ, выездной комиссией Росаккредитации подтверждена компетентность института в области обеспечения единства измерений для выполнения работ по поверке средств измерения с расширением области аккредитации. Отделом метрологических исследований разработаны важные организационно-распорядительные документы по метрологическому обеспечению проводимых в институте работ, в том числе стандарты организации.

Учёными и специалистами отделения динамических исследований продолжены расчётные исследования динамики стендовых ЯЭУ, велась разработка и обслуживание измерительно-вычислительных комплексов, обработка экспериментальной информации и расчётно-аналитическое сопровождение стендовых испытаний.

Одной из значимых работ, завершенных в 2018 году, является разработка, изготовление и поставка полномасштабного и функционального тренажёров для подготовки персонала универсального атомного ледокола нового поколения проекта 22220, выполненная в рамках договора с АО «Балтийский завод». Разработанные тренажёры являются современными высокотехнологичными программно-техническими комплексами, созданными на основе самых передовых достижений в области математического моделирования динамики ядерных энергетических установок. В сравнении с тренажёрами предыдущих поколений для ледоколов «Россия» и «50 лет Победы», вновь созданный тренажёр включает модель движительного комплекса, который учитывает особенности плавания ледокола в сложных погодных условиях. Эксплуатационные характеристики созданного программного продукта обеспечивают возможность моделирования практически неограниченного перечня аварийных вводных. Тренажёры после приёмо-сдаточных испытаний переданы в опытную эксплуатацию в Центр морских арктических компетенций ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова.

В 2018 году получены существенные результаты в развитии системы автоматизации моделирования ТЕРМИТ в части развития сервисного программного обеспечения и интеграции в состав системы автоматизации моделирования ТЕРМИТ системного кода улучшенной оценки КОРСАР и разработки его графического

редактора для ввода исходных данных и формирования расчётных схем. Проведена апробация программных средств ТЕРМИТ-КОРСАР в части создания комплексных математических моделей энергетических установок с применением кода КОРСАР.

Продолжено сопровождение комплекса программно-технических средств информационно-управляющей сети технологических систем и локальной измерительной системы комплекса по переработке отходов ЛАЭС-1.

Для аппаратуры систем технического диагностирования главных циркуляционных насосных агрегатов АЭС Куданкулам блоков № 3 и № 4, блока № 2 Белорусской АЭС разработана конструкторская, технологическая и эксплуатационная документация. Изготовлены блоки управления БУ4К01, БУ4К02 и силовые блоки управления БСБУ4К и БСБУ4К01 для СРК Тяньваньской АЭС. Обеспечено авторское сопровождение эксплуатации ПТК автоматизированной системы радиационного контроля энергоблоков № 3 и № 4 Белоярской АЭС.

Отделами нейтронно-физических и теплофизических исследований велись работы по созданию нового системного связного расчётного кода для поддержки проектирования и обоснования безопасности современных и инновационных проектов РУ с ВВЭР.

Продолжались работы по формированию базы экспериментальных данных на основе результатов испытаний стендовых установок института с целью сохранения уникальных экспериментальных данных, полученных при испытаниях стендовых установок в НИТИ, с целью дальнейшего их использования в качестве верификационной базы для

валидации сопряженных нейтронно-физических и теплогидравлических моделей динамики ЯЭУ.

В рамках технической поддержки эксплуатации расчётного кода КОРСАР в проектно-конструкторских организациях АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» и АО «Атомпроект» в 2018 году впервые были организованы курсы обучения специалистов-пользователей РК КОРСАР на территории ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

В 2018 году в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» по инициативе МАГАТЭ с участием специалистов АНО ДПО «Техническая академия Росатома» и НИТИ был организован учебный курс по применению кодов для анализа безопасности реакторов с водой под давлением типа ВВЭР, оснащенных усовершенствованными средствами безопасности. Данное мероприятие, в котором приняли участие специалисты Армении, Белоруссии, Болгарии, Венгрии, Словакии, проводилось в рамках регионального проекта технического сотрудничества «Создание потенциала в области развития инфраструктуры и оценки безопасности для применения технологии ВВЭР, оснащенных усовершенствованными средствами безопасности (ВВЭР/PWR)».

Отделом химико-технологических исследований проведена большая работа по химико-технологическому и радиохимическому сопровождению комплексных испытаний на стендах-прототипах ЯЭУ, продолжены работы по проведению коррозионного мониторинга основного и вспомогательного оборудования ЯЭУ в периоды испытаний и межцикловых ремонтов. Продолжена поэтапная разработка АСКРО, пусковой комплекс которой введён в эксплуатацию в 2015 году. Исследовано радиационное состояние воды, поступающей на охлажде-

ние оборудования ЯЭУ НИТИ по данным поста радиационного контроля воды АСКРО. Проведён анализ соответствия результатов радиоэкологического контроля действующим федеральным нормативам по радиационной безопасности и ведомственным нормативам по допустимым выбросам и сбросам.

Отделом Главного конструктора АСУ ТП, в соответствии с принципом учёта человеческого фактора, велись работы по функциональному проектированию СКУ и созданию концепций управления для вновь сооружаемых энергоблоков АЭС с ВВЭР – «Эль-Дабаа», «Ханхикиви-1», Пакш-2, Белоруской АЭС.

В отделе исследований тяжёлых аварий на установках экспериментального комплекса «Расплав» продолжено исследование процессов, протекающих на различных стадиях тяжелых аварий АЭС, продолжены исследования по программе CORDEB2 (контракт НИТИ – IRSN-Франция). В рамках работы по проекту АЯЭ/ОЭСР TCOFF (Термодинамическое описание топливных осколков и продуктов деления на основе анализа сценария развития тяжёлой аварии на АЭС Фукусима-Дайити) проведена серия экспериментов, актуальных для термодинамического моделирования состояния расплава кориума на разных стадиях тяжёлой аварии.

В июне 2018 года в соответствии с планом научных и научно-технических мероприятий Госкорпорации «Росатом» на 2018 год институтом проведен межотраслевой научно-технический семинар «Моделирование динамики ЯЭУ» (разработка программных средств, верификация, оценка точности расчёта).

Продолжена публикация выпусков периодического рецензируемого научно-технического сборника «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок», публикующего научные статьи по актуальной тематике и результаты диссертационных работ, выполненных в ходе создания инновационных технологий комплексных испытаний ЯЭУ на этапах жизненного цикла. В 2018 году вышло четыре выпуска научно-технического сборника со статьями, подготовленными учёными НИТИ и авторами из других организаций.

В 2018 году средняя численность работников института составила 2 351 человека. В 2018 году в НИТИ вновь принято на работу 105 работников (учёных, специалистов, рабочих).

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

За добросовестный труд и значительный вклад в развитие отрасли в 2018 году 35 сотрудников института награждены государственными наградами, 6 сотрудников получили в 2018 году награды Госкорпорации «Росатом».

Экономическое состояние Института в 2018 году оставалось стабильным. Основной объём выручки приходился на выполнение НИОКР по госконтрактам. Все расходы на социальные и производственные цели производились в соответствии с отраслевым тарифным соглашением.

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

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

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.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Административная структура

1.2 Основные научно-технические подразделения

1.3 Кадровый состав

1.1 Административная структура

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР

- Первый заместитель генерального директора
- Помощник генерального директора, руководитель департамента стратегического развития
- Заместитель генерального директора по экономике и финансам
- Заместитель генерального директора по безопасности
- Заместитель генерального директора по управлению персоналом
- Главный инженер института
- Помощник генерального директора по экономике, начальник департамента имущественных отношений
- Служба внутреннего контроля и аудита

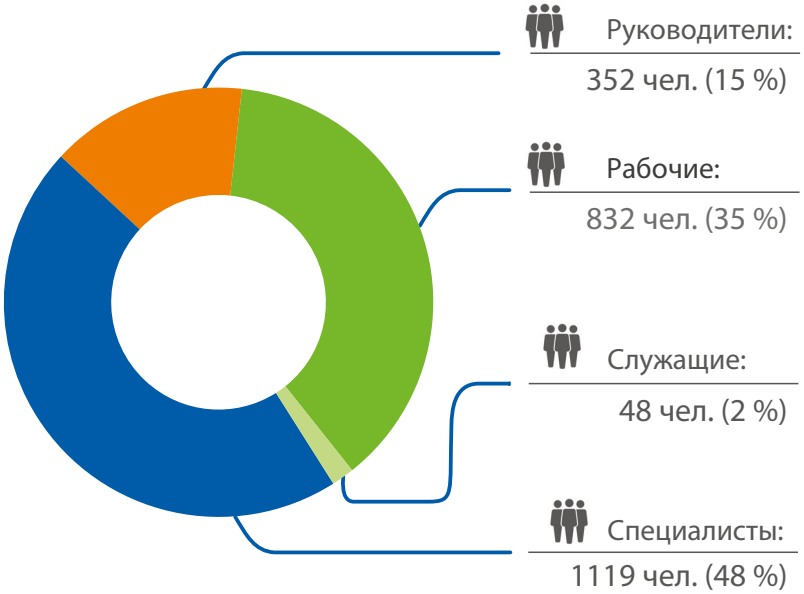
1.2 Основные научно-технические подразделения

ДИРЕКЦИЯ

Отделение комплекс экспериментальных энергетических реакторов	• Комплексные испытания, отработка ЯЭУ и основного оборудования. • Модернизация и совершенствование технологических схем оборудования ЯЭУ на стендах-прототипах. • Ремонт оборудования.
Отделение 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 для объектов ВМФ и АЭС. • 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.

1.3 Кадровый состав

Кадровый состав института



Численность работников по категориям

Общее количество сотрудников: 2 351 (100 %)

Руководители: 352 чел. (15 %)

- Работники науки: 67 чел.
- Доктора наук: 8 чел.
- Кандидаты наук: 12 чел.

Специалисты: 1119 чел. (48 %)

- Работники науки: 58 чел.
- Доктора наук: 4 чел.
- Кандидаты наук: 35 чел.

Рабочие: 832 чел. (35 %)

Служащие: 48 чел. (2 %)

2. ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ НА СТЕНДАХ-ПРОТОТИПАХ ТРАНСПОРТНЫХ ЯЭУ

2.1 Испытания на стенде КВ-1

2.2 Работы, проводимые на стенде КВ-2

2.3 Работы, проводимые на стенде КМ-1

2. ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ НА СТЕНДАХ-ПРОТОТИПАХ ТРАНСПОРТНЫХ ЯЭУ

2.1 Испытания на стенде КВ-1

Д.И. Тригубов, А.Л. Дмитриев, И.Е. Батягин

В 2018 году была продолжена эксплуатация стенда-прототипа транспортной ЯЭУ КВ-1.

В течение 2018 года на стенде КВ-1 были проведены циклы ресурсных испытаний систем и оборудования ЯЭУ, исследовательские работы и межцикловые обслуживания (МЦО) систем и оборудования стенда. Режимы работы стенда КВ-1 в 2018 году определялись моделью эксплуатации, заданной проектантом.

Испытания в текущих циклах проводились по специально разработанной программе. Целью выполнения работ по указанной программе являлось экспериментальное подтверждение возможности работы ЯЭУ при особом состоянии оборудования.

В 2018 году параллельно с основными испытаниями, направленными на подтверждение ресурсных показателей элементной базы перспективных изделий и оборудования ППУ, персоналом ОКЭЭР и других подразделений института также были выполнены следующие научно-исследовательские работы и измерения:

- нейтронно-физические исследования и теплотехнические измерения с целью подтверждения соответствия характеристик реактора спецификационным и обеспечения безопасной эксплуатации установки;
- отработка режимов эксплуатации модернизированной системы безбатарейного расхолаживания (ББР), включая исследования эффективности ББР в области низких температур;
- исследование эффективности пускового источника нейтронов для обеспечения контролируемости реакторной установки;
- расчётно-экспериментальная отработка методических вопросов внутриреакторных исследований;

- исследование дозовых нагрузок в целях оптимизации радиационного воздействия на персонал при работе установки и при выполнении ремонтных работ;
- анализ качественного и количественного состава радиоактивных отходов (РАО), выбросов и сбросов, образующихся при эксплуатации ЯЭУ и проведении ремонтных работ;
- исследование спектральных характеристик гамма-нейтронных полей и зависимости уровней мощности доз гамма-нейтронных излучений за биологической защитой при различных режимах работы реакторной установки;
- исследование радиационных параметров технологических сред и радиационной обстановки в помещениях ЯЭУ;
- исследование газового состава внутренних полостей исполнительных механизмов аварийной защиты реактора (ИМ АЗ) и его влияние на коррозионное состояние внутренних полостей электродвигателей и ресурсные характеристики ИМ АЗ;
- исследование газового режима третьего контура и состава газообразных компонентов для поддержания условий безопасной эксплуатации ЯЭУ;
- исследование водно-химического режима второго контура и ресурсные испытания системы автоматизированного контроля ВХР воды второго контура;
- коррозионный мониторинг систем основных и вспомогательных контуров с целью оптимизации технологии удаления продуктов коррозии;
- исследование метрологических и ресурсных характеристик измерительных каналов температуры системы управления и защиты реактора, и др.

Значительная часть выполненных работ явилась продолжением исследований, начатых в предыдущей кампании испытаний, по различным направлениям, затрагивающим изучение влияния нейтронно-физических, теплотехнических, химических и радиационных процессов на техническое состояние оборудования и систем, а также на показатели качества технологических сред в течение длительной эксплуатации ЯЭУ. Несмотря на имеющийся большой опыт эксплуатации ППУ типовых транспортных ЯЭУ, результаты данных исследований остаются актуальными и представляют интерес для проектных и эксплуатирующих организаций.

2.2 Работы, проводимые на стенде КВ-2

В.Ю. Соколов, В.И. Грачев

Эксплуатация систем стенда транспортной ЯЭУ КВ-2

В 2018 году ЯЭУ стенда КВ-2 эксплуатировалась согласно установленному режиму.

В рамках работ по обслуживанию систем и оборудования стенда выполнены работы:

- в обеспечение испытаний стенда транспортной ЯЭУ КВ-1:
    - приготовление воды высокой чистоты (дистиллята);
    - управление и контроль работой насосов здания для подачи технической воды на стенд КВ-1;

– в обеспечение работоспособности высокопроизводительной вычислительной системы – поддержание эксплуатационных режимов систем электроснабжения, КИПиА, вентиляции, кондиционирования, теплоснабжения.

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

Эксплуатация и техническое обслуживание систем и оборудования ЯЭУ и стенда КВ-2 проводились в соответствии с условиями действующей лицензии Госкорпорации «Росатом». Условия действия лицензии не нарушались.

2.3 Работы, проводимые на стенде КМ-1

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

Реконструкция стенда КМ-1

В 2018 году продолжались работы по выполнению комплексного графика строительства объекта «Реконструкця стенда КМ-1», в том числе:

– СПб филиал АО «ФЦНИВТ «СНПО «Элерон» – «ВНИПИЭТ» разработал пакет рабочей документации;

– подрядчик строительных работ ОП «Сосновый Бор» АО «ФЦНИВТ «СНПО «Элерон» выполнил:

  - монтаж железобетонных и металлических конструкций блока Б здания стенда;
  - демонтаж внешних стен блока А здания стенда;
  - монтаж в блоках А, В здания стенда инженерных сетей, возведение новых стен, перегородок и усиление существующих строительные конструкций.

Персонал ОКЭЭР совместно с другими подразделениями института:

– рассмотрел и согласовал рабочую документацию по реконструкции стенда КМ-1;

– подготовил технические части заявок на закупку оборудования для реконструкции стенда;

– провёл на предприятиях-изготовителях оборудования оценку соответствия оборудования систем важных для безопасности, изготовляемого для стенда КМ-1 в соответствии с НП-071-18 «Правила оценки соответствия продукции, для которой устанавливаются требования, связанные с обеспечением безопасности в области использования атомной энергии, а также процессов её проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации, утилизации и захоронения»;

– выполнил входной контроль поступающего оборудования.

3. ДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, СОЗДАНИЕ ТРЕНАЖЁРОВ

3.1 Динамические исследования в 2018 году

3.2 Полномасштабный и функциональный тренажёры для подготовки оперативного персонала универсального атомного ледокола проекта 22220

3.3 Специальное программное обеспечение универсального сенсорного дисплейного пульта управления

3.4 Адаптация программного комплекса «КРАБ» в ПК «ТЕРМИТ»

3.5 Разработка математической модели динамики стенда «Каскад» в составе ПК КРАБ-Р

3.6 Расчёт распределения температур в активной зоне реактора с жидкометаллическим теплоносителем

3.7 Полигон для проектирования и отладки алгоритмов управления техническими средствами технологических систем с использованием расчётно-моделирующего комплекса

3.8 Развитие программно-технического комплекса «Автоматизированное рабочее место инженера-механика» («АРМ механика»)

3.9 Авторское сопровождения системы радиационного контроля Белоярской АЭС

3. ДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, СОЗДАНИЕ ТРЕНАЖЁРОВ

3.1 Динамические исследования в 2018 году

С.П. Витин, Д.В. Лялюев

Тематика работ Отделения Динамических Исследований разнообразна, и определяется широким спектром разноплановых задач, поставленных перед ОДИ руководством института. В годовом отчете за 2018 год представлены результаты завершенных или близких к завершению работ в отчетном году.

Основные работы ОДИ в 2018 году, как и института в целом, были связаны с экспериментальными исследованиями на стендах-прототипах ЯЭУ, что обусловило значительную долю работ отделения, связанную с разработкой и техническим обслуживанием измерительно-вычислительных комплексов АНИС, обработкой полученной экспериментальной информации и расчётно-аналитическим сопровождением 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 2018 году силами отделения эксплуатировались измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) «АНИСВ1», с помощью которого обеспечивалась непрерывная регистрация параметров при проведении текущих циклов испытаний ЯЭУ стенда КВ-1, и ИВК «АНИС-В3», который обеспечил регистрацию и обработку экспериментальной информации при проведении регламентных работ на стендовом комплексе.

Были проведены наладочные работы и приемочные испытаний автоматизированной системы научных исследований (АСНИ) критического стенда (КС). По результатам приемочных испытаний АСНИ КС принята в эксплуатацию и готова к проведению испытаний критической сборки стенда. Обеспечена регистрация и обработка экспериментальной информации АСНИ КС при проведении контрольного физического пуска критической сборки стенда.

Экспериментальные исследования, проводимые на стендах-прототипах института, тесно связаны с техническим обеспечением инфраструктуры зданий, в которых размещаются стендовые ЯЭУ. Необходимость снижения трудозатрат на обслуживание и управление разветвленными инженерными системами привела к постановке задачи автоматизации контроля и управления вентиляционными системами здания. Эта задача была успешно решена специалистами отделения в рамках разработки системы «АРМ Механика», которая позволяет централизованно следить и управлять вентиляционной системой стендового комплекса и обеспечивать поддержание заданного диапазона изменения режимных параметров в каждом отдельном помещении. Управление системой осуществляется с центрального пульта «АРМ Механика». В 2018 году была разработана и введена в эксплуатацию дополнительная очередь «АРМ Механика» в части, касающейся вспомогательных систем стендового комплекса.

Значительный объём работ, выполняемых в ОДИ, связан с разработкой комплексных систем управления (СУ) ЯЭУ и техническими средствами стендовых (ТСС) комплексов. Так, в 2018 году завершена разработка технического проекта СУ ЯЭУ стенда транспортной ЯЭУ.

Создана первая очередь программно-технического комплекса для отработки и испытаний на стенде программно-технических средств и аппаратуры СУ ЯЭУ.

В рамках разработки СУ ТСС стенда КМ-1:

- разработано, согласовано и утверждено техническое задание на составную часть ОКР «Создание системы управления технологическими системами стенда КМ-1»;
- создана локальная база данных документации (сведения о проектной документации из архива УКС) и подключений (подсистем ТСС).

В 2018 году получены существенные результаты в развитии системы автоматизации моделирования ТЕРМИТ в части развития сервисного программного обеспечения и интеграции в состав системы автоматизации моделирования ТЕРМИТ системного кода улучшенной оценки КОРСАР и разработки его графического редактора для ввода исходных данных и формирования расчётных схем. Проведена апробация программных средств ТЕРМИТ-КОРСАР в части создания комплексных математических моделей энергетических установок с применением кода КОРСАР.

Одной из наиболее важных работ, завершенных в ОДИ в 2018 году, является разработка, изготовление и поставка полномасштабного и функционального тренажёров для подготовки персонала универсального атомного ледокола нового поколения проекта 22220, выполненная в рамках договора с АО «Балтийский завод». В октябре 2018 года были успешно проведены приёмо-сдаточные испытания тренажеров, смонтированных на территории ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. Разработанные тренажёры являются современными высокотехнологичными программно-техническими комплексами, созданными на основе самых передовых достижений в области математического моделирования динамики ядерных энергетических установок. Поставленные в ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова тренажеры стали основой открытого Центра Морских Арктических Технологий (ЦМАК) и заслужили высокую оценку инструкторского состава ЦМАК и экспертов Заказчика.

Продолжено сопровождение комплекса программно-технических средств (ПТС) информационно-управляющей сети общетехнологических систем и вентиляции и локальной измерительной системы комплекса по переработке отходов ЛАЭС-1.

Для аппаратуры систем технического диагностирования главных циркуляционных насосных агрегатов (ГЦНА) АЭС Куданкулам блоков №3 и №4, Белорусской АЭС блок №2 разработана конструкторская, технологическая и эксплуатационная документация.

Изготовлены блоки управления БУ4К01 (2 шт.), БУ4К02 (2 шт.) и силовые блоки управления БСБУ4К и БСБУ4К01 для СРК Тяньваньской АЭС.

Обеспечено авторское сопровождение эксплуатации ПТК автоматизированной системы радиационного контроля энергоблоков №3 и №4 Белоярской АЭС.

По результатам работ, выполненных отделением динамических исследований в 2018 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 Полномасштабный и функциональный тренажёры для подготовки оперативного персонала универсального атомного ледокола проекта 22220

В.А. Корчагин, Д.В. Лялюев, Д.Б. Тепляков

В октябре 2018 года завершены приёмо-сдаточные испытания полномасштабного (ПМТ) и функционального (ФТ) тренажёров, предназначенных для проведения полного цикла подготовки, переподготовки и поддержания уровня квалификации оперативного персонала центрального поста управления (ЦПУ) универсального атомного ледокола (УАЛ) нового поколения проекта 22220. Разработка, изготовление и поставка тренажеров выполнялись отделением динамических исследований в кооперации с АО «ОСК Технологии».

Обучение оперативного персонала на полномасштабных и функциональных тренажёрах является одним из важнейших направлений в обеспечении безопасной эксплуатации объектов использования атомной энергии. Важное место в ряду подобных систем занимают ПМТ и ФТ для УАЛ проекта 22220 в связи с новизной и уникальностью данного объекта, и тем, что тренажёры были созданы задолго до окончания этапов проектирования и постройки головного ледокола серии.

Полномасштабный тренажёр (*рисунок 1*) имитирует обстановку и оборудование помещения ЦПУ ледокола и позволяет при обучении оперативного персонала отрабатывать как понятийные, так и моторные навыки управления атомной энергетической установкой, созданной на базе двух новейших реакторных установок РИТМ-200 разработки АО «ОКБМ Африкантов».

Рисунок 1– Вид имитаторов пультов ПМТ

В составе ФТ полномасштабные имитаторы пультов заменены их информационными моделями, представленными на дисплеях компьютеров, и отсутствует СВВИ. В остальном, состав ФТ аналогичен ПМТ и используется для отработки понятийных навыков и повышения знаний оперативного персонала по динамике физических процессов, происходящих в энергетической установке (ЭУ) ледокола.

В состав ПМТ УАЛ входят:

- полномасштабные имитаторы пультов:
  - РУ-1 (пульт управления реакторной установкой №1);
  - РУ-2 (пульт управления реакторной установкой №2);
  - ЭЭС (пульт управления электроэнергетической системой);
  - СЭД (пульт управления системой электродвижения);
  - ПТУ (пульт управления паротурбинной установкой);
  - ОСС (пульт управления общесудовыми системами);
  - СРК (пульт системы радиационного контроля);
- система ввода-вывода информации (СВВИ);
- вычислительный комплекс, включающий:
  - главный компьютер – сервер (ГК);
  - компьютеры рабочего места руководителя обучения (РМИ) с принтерами;

- активное и пассивное сетевое оборудование;
- аппаратуру вторичного электропитания;

– специальное системное и функциональное программное обеспечение, предназначенное для моделирования физических процессов в технологических системах энергетической установки УАЛ и осуществления сервисных функций по управлению учебным процессом и расчётных исследований на тренажёре.

Обязательным требованием к ПМТ и ФТ УАЛ является обеспечение работы в реальном масштабе времени и в полном соответствии с инструкцией по управлению ЭУ УАЛ. Реальный масштаб времени работы тренажеров обеспечен эффективными численными алгоритмами решения систем дифференциальных уравнений и производительностью главного компьютера, на котором производится расчёт всережимной комплексной модели ЭУ УАЛ.

Система ввода-вывода информации ПМТ, предназначенная для организации обмена сигналами между имитаторами пультов управления и сервером с математической моделью ЭУ ледокола, изготовлена на основе модулей ввода-вывода WAGO I/O-System серии 750 и вместе с источниками питания смонтирована в конструктивы имитаторов пультов.

Для отработки взаимодействия операторов, выдачи вводных и имитации докладов с местных постов в составе полномасштабного тренажёра реализованы, как и на самом УАЛ, следующие виды связи: громкоговорящая, телефонная и безбатарейная.

Комплексная всережимная математическая модель тренажёров разработана в многопользовательской интегрированной графической среде системы автоматизации моделирования ТЕРМИТ. Объём моделирования тренажёров включает модели 113 технологических систем ЭУ и комплексной системы управления (КСУ) техническими средствами (ТС) УАЛ, а также модель пропульсивного комплекса атомного ледокола.

Включение в состав комплексной модели судовой силовой атомной пароэнергетической установки ледокола модели пропульсивного комплекса реализовано впервые в мировой практике. Это позволяет моделировать динамику атомного ледокола во взаимосвязи всех физических процессов, протекающих в ледоколе, начиная от активных зон реакторов до гребных винтов, с учётом задаваемых внешних условий плавания: ледовой обстановки (толщины льда), величины волнения моря (в баллах) и его глубины, осадки ледокола, температуры воздуха и воды.

Модели технологических систем РУ-1, РУ-2, ПТУ, представляющие собой теплогидравлические контуры, разработаны с помощью пакетов программ АРТЕК и ПРАГИС, предназначенных для моделирования динамических процессов в пароводяных системах и системах с однофазным (масло, вода, газ) теплоносителем, соответственно. Для создания моделей ЭЭС использовался пакет программ моделирования динамических процессов в сетях переменного и постоянного тока SELEN. Для моделирования систем автоматики, регуляторов и различных вспомогательных моделей применялся пакет программ АКУЛА.

В соответствии с техническими спецификациями на ПМТ (ФТ) УАЛ [1, 2] реализовано около 40 режимов нормальной эксплуатации, начиная с приведения установки в рабочее состояние, проведения функциональных проверок, выхода на мощность, и заканчивая выводом из действия. В комплексной модели ЭУ реализовано более 200 нестандартных аварийных вводных, в том числе более 70 аварий, рассмотренных в предварительном отчете по обоснованию безопасности РУ УАЛ. Для типовых элементов оборудования (арматура,

насосы и т.д.) возможно задание так называемых «стандартных аварийных вводных», которые доводят общее количество задаваемых отказов на тренажерах до 5000.

Управление процессом обучения на тренажёре осуществляется с помощью программных средств рабочего места инструктора, реализованного в составе двух ПЭВМ с двумя мониторами каждая. Все действия оператора и инструктора протоколируются, сохраняются, а по запросу инструктора могут быть выданы на печать. При этом фиксируется время и вид действий как инструктора, так и оператора. Сохраненный протокол в дальнейшем можно загрузить и автоматически повторить проведённый ранее режим. Существует возможность регистрации любого контролируемого или расчётного параметра модели как для построения динамических графиков при работе тренажера, так и для проведения постобработки проведённого режима при анализе действий обучаемых.

В комплект поставки тренажёров входит также рабочее место разработчика (РМР), выполненное в виде ПЭВМ с установленным программным обеспечением системы ТЕРМИТ. РМР предназначено для проведения модернизации и сопровождения моделей тренажеров силами персонала, эксплуатирующего ПМТ и ФТ УАЛ. Данная возможность позволяет Заказчику получить сложнейший программно-технический продукт, полностью отчуждаемый от разработчиков, что демонстрирует высокий уровень сервисных возможностей тренажёров.

Благодаря эффективным средствам автоматизации разработки моделей технологических систем, тренажёры были разработаны, испытаны и подготовлены к поставке Заказчику в достаточно сжатые сроки (28 месяцев) в условиях недостатка и постоянных изменений исходных данных, связанных с тем, что проектирование и строительство головного ледокола проекта 22220 проводилось параллельно с работами по созданию тренажеров.

Поставленные на территорию Центра Морских Арктических Компетенций ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова тренажёры с успехом выдержали приёмо-сдаточные испытания и заслужили высокую оценку инструкторского состава и экспертов Заказчика [3].

Получение ПМТ и ФТ УАЛ в опытную эксплуатацию задолго до окончания строительства головного ледокола позволяет Заказчику (ФГУП «Атомфлот») использовать тренажёры не только в качестве средств обучения персонала, но и для валидации технических решений, заложенных при проектировании энергетической установки, ее комплексной системы управления, человеко-машинного интерфейса и судовой инструкции по управлению.

Литература

1. Техническая Спецификация «Полномасштабный тренажёр для заказа 05707 проекта 22220. Шифр «ПМТ-22220». ЛКВШ 15.203.0001.00 ТС.
2. Техническая Спецификация «Функциональный тренажё для заказа 05706 проекта 22220. Шифр «ФТ-22220». ЛКВШ 15.203.0002.00 ТС.
3. Акт №04-16/623 приёмо-сдаточных испытаний полномасштабного и функционального тренажёров УАЛ пр. 22220 от 19.10.2018.

3.3 Специальное программное обеспечение универсального сенсорного дисплейного пульта управления

С.В. Крицак, Ю.С. Крицак

Введение

Универсальный сенсорный дисплейный пульт управления (УСДПУ), созданный в ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова», является современным средством подготовки операторов ядерных энергетических установок (ЯЭУ) и инструментом для отработки человеко-машинного интерфейса перспективных систем управления. Программно-технический комплекс (ПТК) с УСДПУ позволяет максимально имитировать функциональные возможности реальных пультов за счёт реализации органов управления и индикации на видеокадрах сенсорных мониторов. Актуальность и особенности технической реализации УСДПУ приведены в [1].

Требования к специальному программному обеспечению

Для обеспечения возможности функционирования тренажёрных систем для разных проектов судовых ЯЭУ на одном комплекте технических средств и удобства внесения изменений при обновлении версий к ПО ПТК с УСДПУ предъявляются определенные требования, а именно:

- возможность достаточно быстрого переключения ПТК с одного тренажёра на другой;
- высокая скорость загрузки системного ПО;
- отсутствие сохраняемых данных на бездисковых рабочих станциях (БДРС) пульта управления;
- использование сенсорных мониторов для управления процессом моделирования и отображения информации.

В связи со всем вышеперечисленным было принято решение использовать съёмные диски на рабочем месте управления тренажёром (РМУТ) и бездисковые рабочие станции, поддерживающие функционирование сенсорных мониторов УСДПУ с загрузкой системного и специального ПО с РМУТ. При этом съёмные диски содержат все необходимые для работы тренажёра данные и настройки, что позволяет переключаться на другой тренажёр при помощи простой замены диска и перезагрузки РМУТ.

Схема работы специального программного обеспечения ПТК с УСДПУ

Поскольку различные тренажёры имеют свои особенности реализации серверной части и используют для своей работы различные конфигурации серверного ПО, были разработаны два основных варианта ПО ПТК с УСДПУ, различающиеся используемой на РМУТ операционной системой (ОС). В частности, для ряда тренажёров используется ОС Astra Linux, а для тренажёрного комплекса плавучей атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов» — Windows Server 2012.

Схема запуска ПО УСДПУ в ОС Windows Server 2012 показана на *рисунке 1*, вариант с

использованием Astra Linux показан на *рисунке 2.*

Запуск бездисковых рабочих станций осуществляется удаленно по сети специальным скриптом «Вкл. Пульт» с использованием технологии Wake-on-LAN (сокр. WOL). В Windows-системах для этой цели используется утилита Wolcmd.exe, в Linux – ether-wake (*см. рис. 1, 2*).

Для загрузки БДРС используется технология PXE (***P****reboot e****X****ecution* ***E****nvironment*), суть которой заключается в том, что PXE-код, находящийся в ПЗУ сетевой карты, запрашивает у DHCP-сервера по протоколу BOOTP адрес TFTP-сервера, загружает оттуда исполняемый файл *pxelinux (*с уникальным для данной бездисковой рабочей станции конфигурационным файлом, в котором указано имя инициатора(клиента) iSCSI), передаёт ему управление, после чего тот, в свою очередь, загружает по сети и передает управление ядру Linux (см. *рис. 1, 2*). Производится загрузка ОС linux (в данном случае Debian 9).

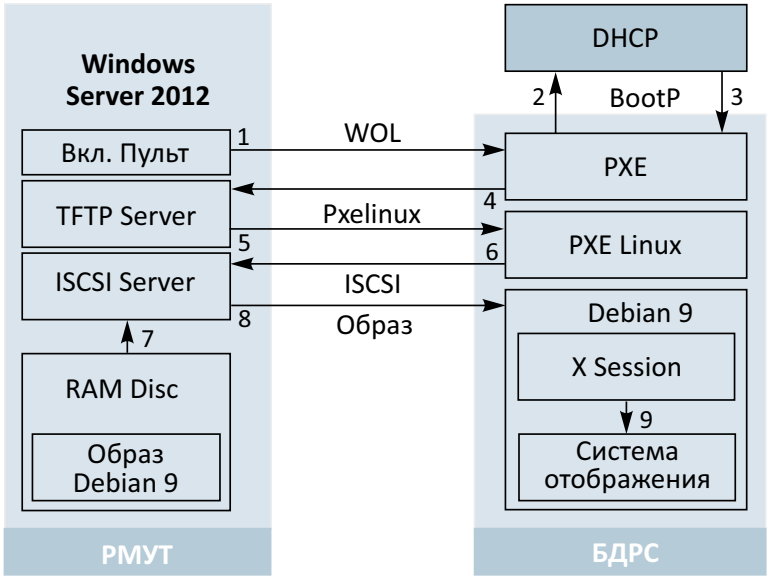


Рисунок 1 – Схема функционирования ПО УСДПУ в ОС Windows Server 2012

TFTP (***T****rivial* ***F****ile* ***T****ransfer* ***P****rotocol*) — простой протокол передачи файлов, основанный на транспортном протоколе UDP, используется, главным образом, для первоначальной загрузки бездисковых рабочих станций. Приложение TFTP-сервер автоматически запускается на РМУТ при загрузке ОС.

Образ системы для БДРС находится на съёмном диске РМУТ. В случае использования Astra Linux в качестве ОС для РМУТ возможно хранение образа в виде дерева файлов в отдельной папке. Для доступа к файлам образа используется NFS (**N**etwork **F**ile **S**ystem) - протокол сетевого доступа к файловым системам, позволяющий подключать (монтировать) удалённые файловые системы через сеть.

В случае с Windows Server такой вариант подходит плохо в связи с различиями серверной и загружаемой файловых систем (кодировки имен файлов, организация прав доступа и т.д.). Поэтому образ системы БДРС хранится на сервере в виде специально организованного отдельного файла, доступ к которому обеспечивается по протоколу iSCSI (**I**nternet

Small **C**omputer **S**ystem **I**nterface), предоставляющему блочный доступ к диску, передавая SCSI команды через IP сеть. При загрузке Windows автоматически запускается сервер iSCSI (iSCSI-таргет). Для ускорения загрузки образа системы бездисковой рабочей станции используется технология RAM-Disk, предоставляющая возможность создания виртуального диска в оперативной памяти компьютера. В ОС Windows для этой цели используется приложение SoftPerfectRamDisk. Также для ускорения загрузки БДРС и минимизации занимаемого пространства в памяти РМУТ потребовалась оптимизация образа операционной системы Debian, для этого были отключены неиспользуемые при работе УСДПУ сервисы ОС, удалены лишние пакеты программ, драйверы и модули ядра, соответствующим образом сконфигурировано и переработано ядро.

БДРС в процессе загрузки получают IP-адрес и имя компьютера от DHCP-сервера, подключаются к NFS-серверу (или к iSCSI-таргету в случае использования ОС Windows) и монтируют корневой раздел файловой системы (*см. рис. 1, 2*).

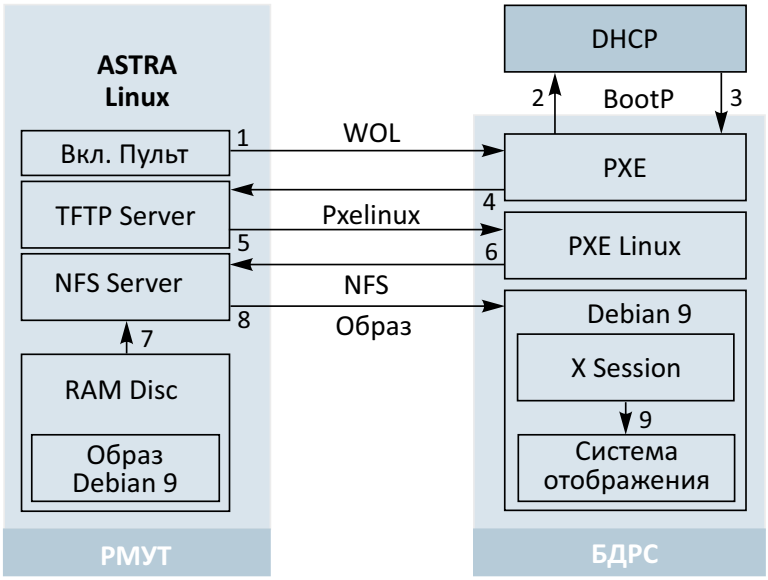


Рисунок 2 – Схема функционирования ПО УСДПУ в ОС Astra Linux

После загрузки операционной системы автоматически запускается сессия графической среды X Windows и специально разработанная система отображения с соответствующей конфигурацией, выбираемой в зависимости от имени БДРС (*см. рис. 1, 2*). Система отображения динамической информации построена на базе разработанного в НИТИ им. А.П.Александрова универсального графического ядра EGC с использованием языка программирования Python и пакетов Qt4 и PyQt4.

Для выключения УСДПУ специальным скриптом для каждой БДРС производится удаленный вызов на выполнение linux-команды poweroff с использованием протокола SSH (с помощью утилиты OpenSSHforWindows в варианте 1).

В процессе разработки специального ПО, обеспечивающего функционирование пультовых БДРС, создан набор скриптов на РМУТ для включения и выключения пультовых БДРС, а также скрипты выбора конфигурации для системы отображения БДРС. Кроме того,

для обеспечения функционирования УСДПУ в описанных выше режимах, проведена сборка специализированного оптимизированного ядра ОС Debian.

Вариант ПО для пультовых станций со съёмными дисками

В некоторых случаях возникает необходимость использования для пультовых станций специального ПО, которое не может быть загружено по сети обычным для бездисковых рабочих станций образом. Для таких случаев предусмотрена возможность установки в них контейнеров со съёмными дисками. Операционная система и специальное ПО настраивается для каждого такого диска в индивидуальном порядке.

Заключение

В различных тренажёрных комплексах может потребоваться использование пультов управления с количеством стоек, превышающим имеющееся в разработанном ПТК. Для решения подобных задач и удобства использования УСДПУ в настоящее время разработана программа для настройки конфигураций пульта, в которой имеется возможность создавать и редактировать состав панелей с динамическим переключением пульта между параллельно функционирующими тренажёрами без замены диска на РМУТ.

Литература

1. 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: научно-технический сборник. – 2016. № 3(5). – С.71-74.

3.4 Адаптация программного комплекса «КРАБ» в ПК «ТЕРМИТ»

А.А. Шаленинов, В.С. Погорелов, В.В. Шаталов, Е.В. Калинина

Целью адаптации программного комплекса (ПК) КРАБ в ПК ТЕРМИТ явилась необходимость автоматизации создания расчётных моделей. ПК КРАБ предназначен для расчёта теплогидравлических процессов в циркуляционных контурах водо-водяных реакторов и теплофизических стендов в режимах нормальной эксплуатации и в аварийных режимах. Основой ПК КРАБ является пакет программ ДЖИП, разработанный в соответствии со стандартом языка FORTRAN-77. С использованием ПК КРАБ при сопровождении испытаний, проводимых на стенде-прототипе транспортной ЯЭУ НИТИ, выполнен значительный объём расчётных исследований теплогидродинамики ЯЭУ в различных эксплуатационных режимах.

Адаптация ПК КРАБ в ПК ТЕРМИТ проводилась в несколько этапов.

1. Создание графического интерфейса (ГИ) для ПК КРАБ на основе универсального графического топологического редактора (ГТР) ПК ТЕРМИТ как инструмента создания графических оболочек для расчётных кодов и пакетов моделирования

ГТР расчётных схем предназначен для подготовки входных данных для пакетов моделирования и расчётных кодов, интегрированных в ПК ТЕРМИТ. Редактор позволяет пользователю «рисовать» на экране компьютера расчётные схемы, вводить числовые характеристики моделируемого оборудования, задавать граничные условия и связи между элементами схем, осуществлять поиск и навигацию. Расчётные схемы, вводимые пользователем, запоминаются в базе данных. Для этих схем автоматически формируются текстовые файлы исходных данных для пакетов моделирования и расчётных кодов в форматах, требуемых для этих пакетов.

ГИ создавался по технологии, принятой в ПК ТЕРМИТ, в несколько этапов.

1. Разработан с помощью ГТР ПК ТЕРМИТ набор графических элементов, представляющих основные элементы расчётных схем ПК КРАБ. Для каждого элемента были разработаны:
   - графическое изображение элемента, с необходимыми графическими областями связи с другими элементами;
   - описания расчётных параметров элемента (имя, развёрнутое наименование, размерность массива (для параметров-массивов), тип данных и другую информацию);
   - набор разрешённых связей с другими элементами.
2. Разработана программа обработки расчётных схем (препроцессинга), которая по заданной графической расчётной схеме формирует файл входных данных для ПК КРАБ. Этот файл содержит всю информацию о топологии расчётной схемы, а также значения физических числовых характеристик элементов расчётной схемы.
3. Разработана программа – генератор программ чтения/записи исходных состояний (“фотографий”). Исходными данными для этой программы служат файлы с описаниями COMMON -блоков ПК КРАБ.

2. Интеграция ГТР в ПК ТЕРМИТ

ГТР интегрирован в ПК ТЕРМИТ. Обеспечивается многопользовательский режим работы ГТР. В базе данных для хранения объектов ГТР содержатся сведения о стандартных моделируемых элементах расчётных схем (коды элементов, их графические изображения, описания параметров-характеристик, описания входных и выходных сигналов, способов анимации и т.д.), описания формальных параметров вызова головных программ пакетов и другие.

3. Интеграция ПК КРАБ в ПК ТЕРМИТ

ПК КРАБ интегрирован с ГТР как подключаемый внешний расчётный модуль (плагин)

с COMMON-блоками, в базу данных включены объектные файлы программ пакета КРАБ, адаптированные и скомпилированные Intel Fortran Compiler v.15.0.0 под OS Linux.

4. Реализация расчётных схем с помощью графического интерфейса для пакетов моделирования

С помощью ГИ ПК КРАБ реализована расчётная схема основного циркуляционного тракта первого контура и систем безопасности перспективной ЯЭУ. Были использованы следующие основные элементы ГИ ПК КРАБ:

- ✓ типовые элементы:
  - ***контрольный объём*** – компонент потока теплоносителя, ограниченный поверхностями конструкций, формирующими поток, и границами пространственной дискретизации;
  - ***узел*** – реализует модель камер смешения коллекторов и т.п. и обеспечивает соединение двух и более веток расчётной схемы. Для узлов рассчитываются только скалярные характеристики потока;
  - ***граничный узел*** – узел, в котором скалярные характеристики задаются пользователем как функция времени, либо рассчитываются в отдельном программном модуле;
  - ***ветка*** – реализует математическую модель течения теплоносителя в эквивалентном цилиндрическом канале. Ветка разбита на один или несколько контрольных объёмов, в которых рассчитываются скалярные характеристики потока. Расчёт векторных характеристик осуществляется на границе контрольных объёмов;
  - ***вырожденная ветка*** – описывает течение теплоносителя с возможностью критического течения. Рассчитываются только векторные характеристики. Вырожденные ветки не содержат контрольных объёмов;
  - ***теплопроводящая конструкция*** – фрагменты ограничивающих контрольные объёмы конструкций, формирующие поток теплоносителя и обменивающиеся с ним теплом посредством теплопередачи. Топологически связаны с одним или несколькими контрольными объёмами;
  - ***струйный насос*** (эжектор) – реализует математическую модель эжектора;
  - ***насос*** – реализует математическую модель насоса определенного типа.
- ✓ специальные элементы: ***подсхема, коннектор;***
- ✓ связи;
- ✓ декоративные графические элементы: ***клапан, турбина, сопротивление.***

На *рисунке 1* представлен фрагмент расчётной схемы, реализованной в ГИ ПК КРАБ.

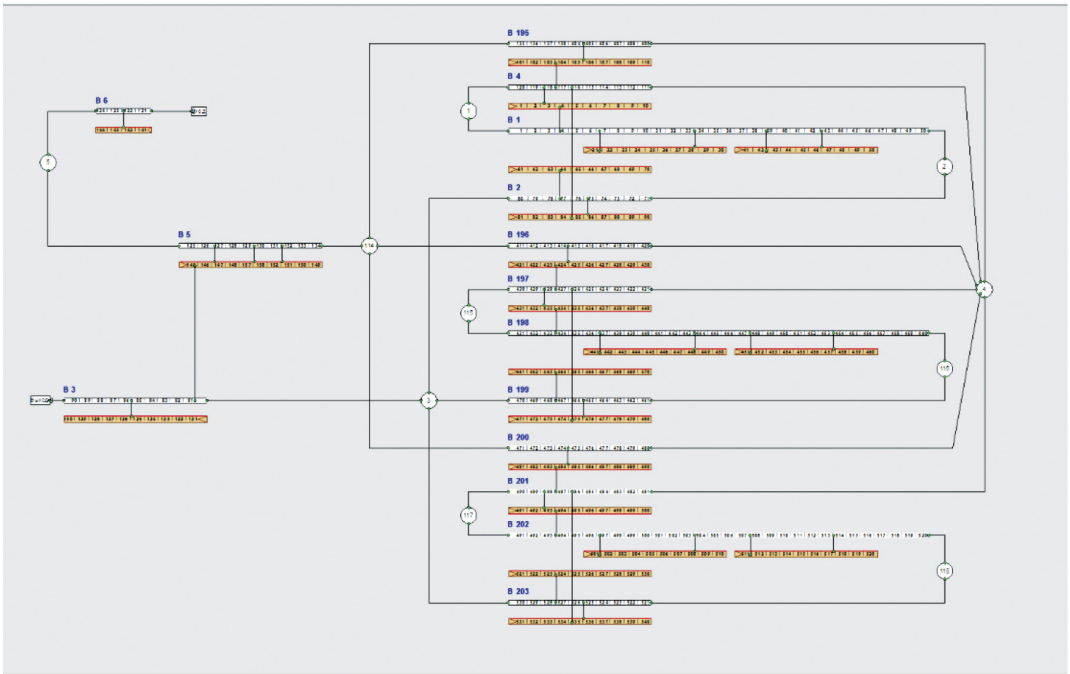


Рисунок 1– Фрагмент расчётной схемы первого контура

5. Комплексная отладка в ПК ТЕРМИТ

Протестирована работа данной модели на кластерной суперЭВМ.

Получено идентичное стационарное состояние параметров для тестовой расчётной схемы, как для варианта с использованием графического редактора расчётного кода КРАБ, так и для варианта с использованием внешнего модуля.

Созданный ГИ ПК КРАБ позволяет пользователям ПК ТЕРМИТ разрабатывать расчётные схемы в наглядном графическом виде. ГИ ПК КРАБ избавляет пользователей от утомительной и трудоёмкой работы по кодированию файла входных данных. Также при этом становятся невозможными ошибки, связанные с кодированием данного файла. Производительность при использовании ГИ ПК КРАБ существенно возрастает. Преимущества графического интерфейса наибольшим образом проявляются, когда в расчётную схему нужно внести какие-то изменения, особенно те, которые связаны с топологией.

3.5 Разработка математической модели динамики стенда-прототипа ЯЭУ в составе ПК КРАБ-Р

И.С. Калинин, Е.В. Калинина, И.В. Костров, А.И. Николаев, С.В. Сулыбкин

Накопленный в процессе предыдущих этапов испытаний оборудования стенда опыт показал необходимость разработки адекватных математических моделей объекта управления для обоснования безопасности испытаний. Вместе с тем, полученные результаты выя-

вили необходимость ужесточения требований к моделированию отдельного оборудования и технологических систем. Задача проведения всестороннего расчётного исследования испытательных режимов является актуальной по следующим причинам:

- в процессе испытаний были выявлены проблемы динамики запуска турбопитательного насоса (ТПН) и выхода его на рабочие параметры;
- на следующих этапах исследований часть оборудования будет испытываться впервые в условиях сложной динамики переходных режимов;
- анализ результатов, полученных в ходе испытаний, выявил необходимость изменения подхода к моделированию динамики процессов в технологических системах стенда;
- в дальнейшем предполагается использование новой комплексной системы управления основным оборудованием установки.

Для решения поставленной задачи были задействованы все опробованные подходы к расчётному обоснованию испытаний на стенде-прототипе ЯЭУ: выполнение вариантных расчётов; задействование методологии анализа неопределенности и чувствительности (АНЧ) для учёта вариабельности конструкционных, модельных и режимных параметров.

Использование комплексной быстродействующей модели стенда-прототипа ЯЭУ в составе программного комплекса КРАБ-Р:

- позволило в приемлемые сроки выполнить оперативные прогнозные расчёты в обеспечение корректировки алгоритмов управления установкой;
- расширило возможности применяемых математических моделей в направлении оценки влияния вариабельности характеристик оборудования на протекание процессов с применением метода АНЧ;
- позволило использовать разработанную математическую модель в составе расчётно-моделирующего комплекса стенда «Каскад».

В процессе отладки и тестирования математической модели выполнена оптимизация используемых расчётных методик. Как следствие, существенно улучшено качество моделирования ключевых процессов и характеристик установки, что привело к повышению достоверности прогнозных расчётов, надёжности и безопасности испытаний в целом.

3.6 Расчёт распределения температур в активной зоне реактора с жидкометаллическим теплоносителем

В.Н. Зимаков, В.В. Кобаров

Экспериментальные исследования полей температур и расходов в активной зоне реактора с жидкометаллическим теплоносителем (ЖМТ) были выполнены в НИТИ на стенде-прототипе ЯЭУ. По результатам экспериментов отмечено, что реакторы с ЖМТ характеризуются сложной картиной течения теплоносителя в активной зоне и потому для более качественного анализа в настоящее время требуются современные расчётные методы, нежели использовавшиеся на предыдущих этапах испытаний. Задача расчётного обеспечения

стендовых испытаний ЯЭУ с ЖМТ до сих пор остаётся актуальной. Средства расчётного моделирования, достаточно подробно описывающие распределение теплогидравлических параметров в активной зоне реактора, как правило, основываются на использовании расчётных кодов в трёхмерном приближении. Именно в таком приближении для стендового варианта активной зоны с ЖМТ и был разработан расчётный модуль определения значения температур в твэлах и в межтвэльном пространстве.

В активной зоне реактора размещены бесчехловые тепловыделяющие сборки (ТВС) трёх типов. В центральной части активной зоны размещены шестигранные тепловыделяющие сборки, на периферии – сборки трапециевидного сечения.

Тепловыделяющие сборки разных типов состоят из различного количества стержневых твэлов, причём в расчётной модели учитываются все твэлы. Сборки расположены в цилиндрическом корпусе, заполненном ЖМТ. В нижней части корпуса реактора находится камера смешения, к которой подключены четыре петли теплообмена. Теплоноситель поступает в активную зону с заданными значениями расходов и температур. В верхней части реактора находятся четыре выходных патрубка соответствующих петель теплообмена. Входы и выходы каждой петли теплообмена расположены симметрично по образующим активной зоны без азимутального смещения.

Трёхмерная неструктурированная расчётная сетка представлена совокупностью слоев призматических расчётных ячеек. При этом расчётные ячейки, соответствующие участкам твэлов, имеют вид правильных шестигранных призм, а участкам межканального пространства – неправильных призм с параллельными основаниями.

При расчёте распределения параметров в реакторе с ЖМТ решается система дискретных уравнений – аналогов уравнений сохранения массы, импульса и энергии, записанных по методу контрольного объёма. Расчёты проводились в предположении стационарности тепловыделения в активной зоне. Распределение тепловыделения по высоте – косинусоидальное, по радиусу активной зоны – равномерное.

Расчёты выполнены при следующих значениях параметров:

- число слоев по высоте активной зоны – 20;
- шаг моделирования – 0,001с;
- начальное давление на входных патрубках – $3,6 \cdot 10^5$ Па;
- начальное давление на выходных патрубках – $2,0 \cdot 10^5$ Па;
- начальные значения температуры твэлов и теплоносителя заданы.

Проведено три варианта расчётов:

- работают все четыре петли теплообмена;
- работают две противоположные петли теплообмена;
- работают две соседние петли теплообмена.

Во всех вариантах расчётов установление параметров в активной зоне происходило за 80–90 с. Для первого варианта расчётов приведены графики распределения температур и массовой скорости теплоносителя (*см. рисунок 1*).

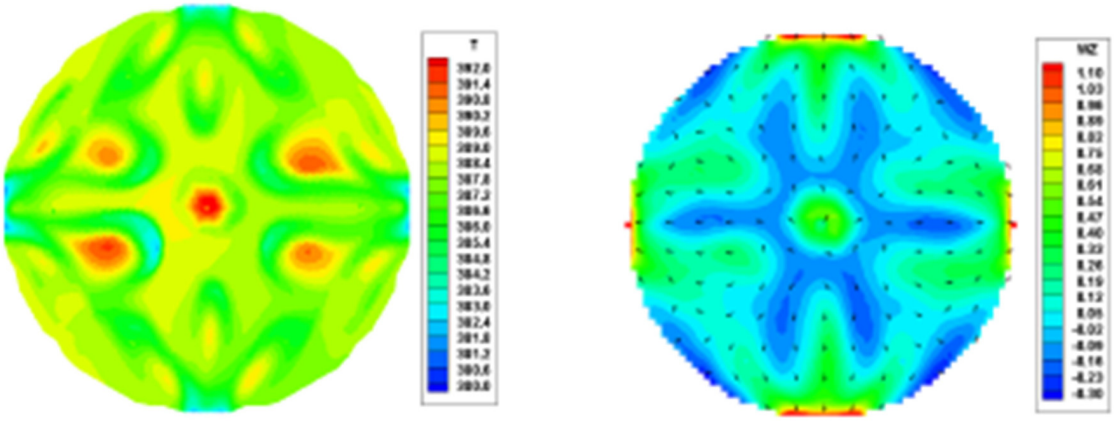


Рисунок 1 – Распределение температуры и массовой скорости теплоносителя на выходе из активной зоны (WZ – вертикальная компонента)

Для остальных вариантов расчётов получены аналогичные графики: *рисунок 2* – работают две петли теплообмена на противоположных сторонах активной зоны; *рисунок 3* – работают две соседние петли теплообмена.

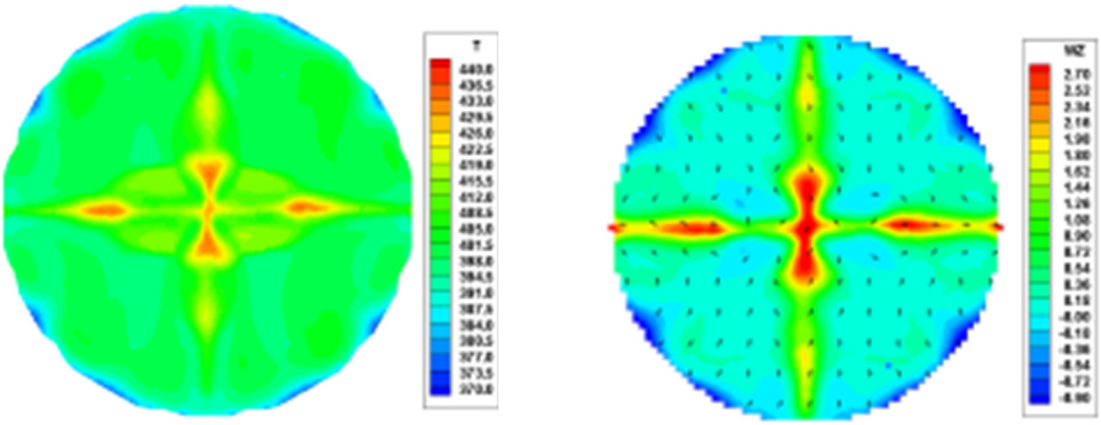


Рисунок 2 – Распределение температуры и массовой скорости теплоносителя на выходе из активной зоны (работают 2 противоположные петли теплообмена)

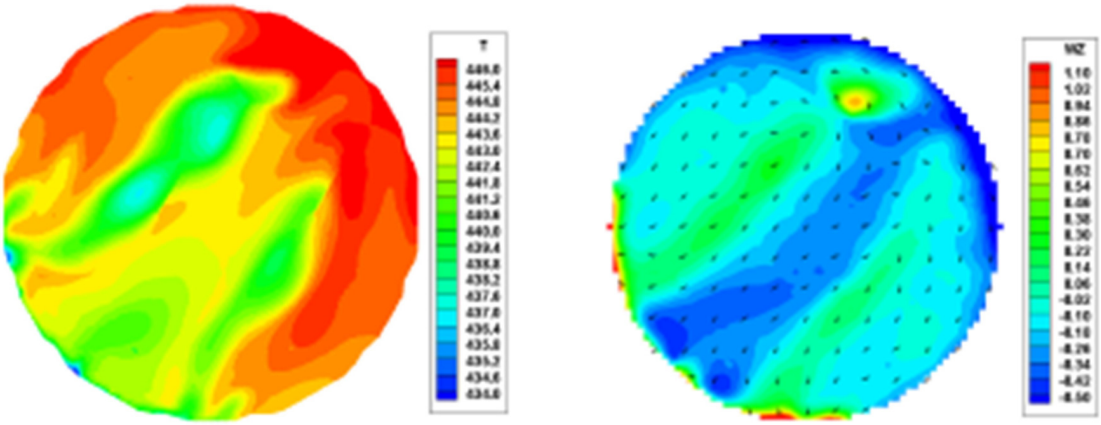


Рисунок 3 – Распределение температуры и массовой скорости теплоносителя на выходе из активной зоны (работают 2 соседние петли теплообмена)

Проверку качества моделирования обычно выполняют сравнением результатов расчёта с экспериментальными данными. При отсутствии экспериментальных данных предварительное заключение о качестве разработанной математической модели можно получить только на основе удовлетворительной сходимости результатов расчёта. Погрешность полученных расчётных данных не превышает десятых долей градуса. Ещё одним доказательством служит сохранение в расчёте симметричного распределения температур при симметричной работе петель теплообмена. При четырёх работающих петлях теплообмена (*см. рисунок 1*) наблюдается симметричное распределение температур и массовых скоростей на выходе из активной зоны. Можно отметить ярко выраженные «горячие» пятна, температура которых на 10…12 °С больше средней выходной температуры на том же слое. Ещё более яркой симметрией отличается работа реактора при двух противоположно расположенных работающих петлях теплообмена. В данном случае картинки симметрии в распределении температур и массовых скоростей практически повторяются. Разброс температур составляет 8…10 °С. Расчёт для случая отключённых двух соседних петель теплообмена показан на *рисунке 3*. Распределение температур отличается значительной неравномерностью. Расчёты подобных случаев позволяют оценить допустимый уровень мощности, при котором реактор может работать с двумя соседними отключёнными петлями теплообмена.

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет рассчитать распределение температур в активной зоне реактора с ЖМТ, определить в первом приближении наличие «горячих» пятен на выходе из активной зоны и оценить допустимые уровни мощности реактора при неполном составе работающих петель теплообмена. Дальнейшее совершенствование алгоритма расчётного моделирования полей температур и скоростей по объёму активной зоны с жидкометаллическим теплоносителем при наличии экспериментальных данных позволит откорректировать полученные на сегодняшний день результаты.

3.7 Полигон для проектирования и отладки алгоритмов управления техническими средствами технологических систем с использованием расчётно-моделирующего комплекса

С.А. Ганжа, Д.А. Гурский, Е.И. Дербуков, М.А. Ельшин, О.А. Иконникова, Е.В. Клюева, С.А. Мехоношин, А.В. Муратова, А.В. Привалихин, Т.В. Романова, В.А. Чернего

Для проектирования и отладки алгоритмов систем управления (СУ) техническими средствами технологических систем (ТС) испытательных стендов создаётся полигон, на котором предполагается исследовать функционирование комплектов аппаратуры проектируемых СУ ТС во взаимодействии с имитатором объекта управления. В качестве имитатора объекта используется математическая модель технологических систем, созданная с помощью различных инструментально-программных средств и реализованная в виде расчётно-моделирующего комплекса (РМК).

Структура полигона приведена на рисунке, где показан комплекс технических средств, который состоит из следующих программно-аппаратных комплектов:

1. РМК, в составе которого имеются:
   - комплексная многорежимная математическая модель (ММ объекта) реального времени, воспроизводящая динамические процессы в технологических системах управления и реализованная на ЭВМ высокой производительности (ГК МК);
   - автоматизированные рабочие места (АРМ) разработчиков модели объекта, оснащённые программными средствами ИПК ТЕРМИТ, используемого для создания модели;
   - рабочее место управления (РМУ) моделирующим комплексом, с которого производится запуск и останов математической модели, считывание и запись исходных состояний и другие необходимые операции.
2. Инженерно-исследовательский комплекс (ИИК) в составе:
   - математической модели алгоритмов управления (ММ СУ), реализованной средствами ИПК SimInTech или ИПК ТЕРМИТ;
   - рабочего места для разработки программного обеспечения, реализующего алгоритмы управления с использованием САПР фирмы-разработчика базовых программно-технических средств, на которых строится аппаратура создаваемой СУ;
   - рабочего места для разработки программного обеспечения для реализации функций контроля и управления на пультах с использованием применяемой САПР SCADA-системы;
   - пультов управления процессом отладки и испытаний алгоритмов и программного обеспечения (ПУ МК), позволяющих инициировать в модели объекта события, требующие реакции со стороны СУ, например, имитация показаний контрольно-измерительных приборов с целью проверки алгоритмов управления и сигнализации, моделирование отказов технических средств, приводящим к авариям технологического оборудования.
3. Универсальный сенсорный дисплейный пульт управления (УСДПУ), выполняющий на первых этапах функции макета пультов управления.
4. Программно-технические средства фрагментов штатной аппаратуры в объёме функционально-самостоятельного комплекта аппаратуры нижнего уровня СУ:
   - приборы сопряжения (ПС1 … ПС4)
   - приборы ввода-вывода (ПВВ1 … ПВВ4);
   - приборы релейные – одноканальный (ПР1) и трёхканальный (ПР3);
   - приборы размножения сигналов – аналоговых (ПРАС) и дискретных (ПРДС);
   - прибор гальванической развязки (ПГР);
   - приборы бесперебойного питания (ПБП1 … ПБП3);

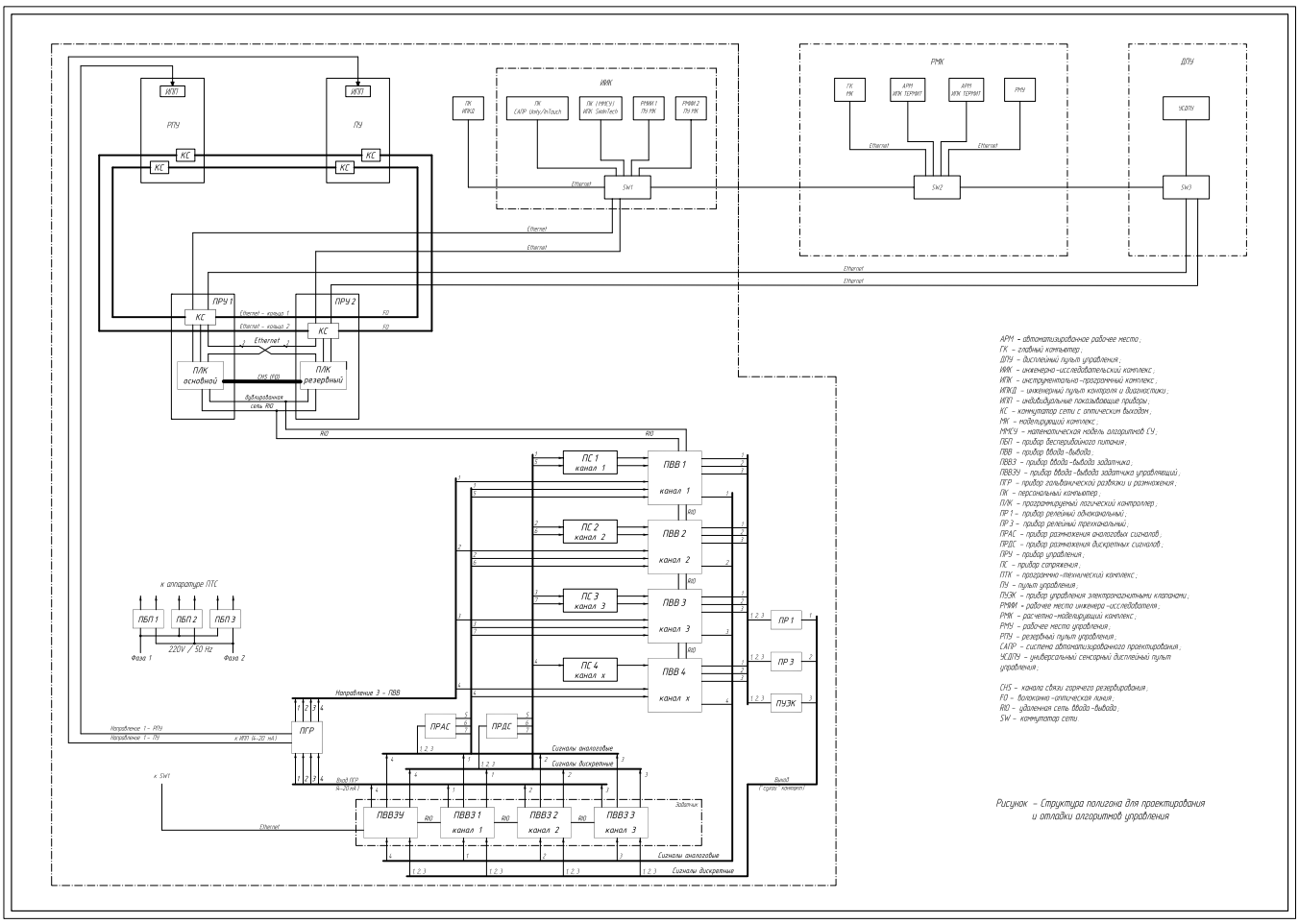


Рисунок – Структура полигона для проектирования и отладки алгоритмов управления

- приборы управления (ПРУ1 и ПРУ2);
- дублированная сеть RIO для передачи информации в пределах комплекта аппаратуры.

5. На этапе заводских испытаний универсальный сенсорный дисплейный пульт заменяется штатными пультами управления (основным – ПУ и резервным – РПУ).

6. Программно-технические средства задатчика сигналов обмена между РМК и комплектом аппаратуры СУ технологическими системами в составе:

   - приборы ввода-вывода задатчика (ПВВЗ1 … ПВВЗ3), предназначенные для приёма дискретных сигналов типа «сухой контакт» из аппаратуры СУ, а также для выдачи дискретных сигналов и аналоговых сигналов (4–20 мА) постоянного тока в аппаратуру СУ;
   - прибор ввода-вывода задатчика управляющий (ПВВЗУ), предназначенный так же, как и приборы ПВВЗ, для приёма и выдачи дискретных и аналоговых сигналов; кроме того, прибор ПВВЗУ включает в свой состав процессорный модуль, головной модуль сети удалённого ввода-вывода и коммуникационный модуль сети Ethernet, что позволяет прибору ПВВЗУ

управлять по сети удалённого ввода-вывода другими приборами ПВВЗ, а по сети Ethernet обращаться к ЭВМ в составе РМК для обеспечения обмена информацией.

7. Персональный компьютер, выполняющий функции инженерного пульта контроля и диагностики аппаратуры системы управления (ИПКД).
8. Сетевые средства Ethernet (коммутаторы и кроссовые шкафы), обеспечивающие обмен информацией между компонентами полигона.

При отладке и предварительных испытаниях комплектов СУ программное обеспечение загружается в следующей конфигурации:

– проект системного и функционального программного обеспечения для ПТС в составе аппаратуры пультов управления и ИПКД, который функционирует в полном объёме;
– проект системного и функционального программного обеспечения для ПТС в составе аппаратуры подсистемы управления, который функционирует в объёме отлаживаемого ПТК;
– программная реализация эталонной модели алгоритмов системы управления (ММ СУ) в составе РМИИ, которая выполняет функции смежных подсистем управления.

Контроль выполнения программ, загруженных в программно-технические средства в составе пультов управления и в приборы управления испытываемого комплекта аппаратуры, осуществляется с использованием применяемых САПР, обеспечивающих режим анимации (animation mode) выполнения программ, что позволяет разработчикам программного обеспечения оперативно обнаруживать и устранять ошибки. В процессе отладки и испытаний все обнаруженные ошибки в программном обеспечении должны фиксироваться 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.

Заключение:

– в настоящее время закончена комплексная проверка функционирования комплекса технических средств полигона;
– разработана и включена в состав РМК первая версия математической модели одного из объектов и его системы управления;
– с использованием программно-технического комплекса полигона осуществляется проверка обоснованности принятых структурных и программных решений создаваемой СУ с функционированием в реальном масштабе времени;
– в структуре комплекса технических средств полигона заложена возможность его развития и модернизации в зависимости от решаемых задач предприятия.

3.8 Развитие программно-технического комплекса «Автоматизированное рабочее место инженера-механика» («АРМ механика»)

С.В. Батраков, М.Ю. Голубчиков, Д.А. Гурский, А.В. Демидов, В.Г. Тихонов, В.П. Черных, Б.И. Щербина

Программно-технический комплекс (ПТК) «Автоматизированное рабочее место инженера-механика» («АРМ механика») предназначен для непрерывного контроля состояния и управления инженерными системами здания стендового комплекса. Цель АРМ – оперативный контроль состояния оборудования инженерных систем и, следовательно, повышение эффективности работы персонала эксплуатирующего подразделения.

Особенностью инженерных систем здания стендового комплекса является большое количество технологического оборудования, распределенного по всему зданию. Кроме того, постоянно расширяется количество инженерных систем и непрерывно модернизируется оборудование.

Учитывая приведённые выше особенности инженерных систем, разработка «АРМ механика» выполнялась поэтапно. Последовательность интеграции инженерных систем определялась специалистами подразделения в соответствии с актуальностью соответствующих задач эксплуатационного персонала.

Разработка первой очереди программно-технического комплекса (ПТК) («АРМ механика») выполнена в течение 2017 года. В объёме интегрированных инженерных систем на этом этапе были включены семь вентиляционных систем здания. Этот этап включал разработку и изготовление технических средств сбора, обработки и представления информации, а также монтаж и наладку оборудования «АРМ механика». Все последующие этапы работ по развитию «АРМ механика» выполнялись исключительно путем подключения оборудования новых инженерных систем к линиям RS-485 и модернизации программного обеспечения «АРМ механика».

Второй этап разработки «АРМ механика» выполнен в течение 2018 года. На втором этапе к «АРМ механика» были подключены системы водоподготовки здания стендового комплекса (узлы учёта питьевой воды и горячего водоснабжения): УУПВ1, УУПВ2, УУПВ3 (теплосчетчики ТСРВ-024М), УУГВС (теплосчетчик ТСРВ-024) и ИТП2 (термопреобразователь ТПУ 0304/М3-МВ).

При модернизации ПО «АРМ механика» выполнена модернизация обобщенного видеокадра человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) и добавлен видеокадр системы водоподготовки (*рисунок 1*). Использование SCADA среды Wonderware InTouch 2014R2 для реализации ЧМИ существенно упрощает его модернизацию.

На втором этапе модернизация программного обеспечения выполнена с учётом задачи контроля расхода воды со стороны информационной системы УЭС. Для решения этой задачи к системам водоподготовки здания стендового комплекса (узлы учёта питьевой воды и горячего водоснабжения), которые подключены к АРМ механика по последовательному интерфейсу, обеспечен сетевой доступ информационной системы УЭС. Эта задача решена путем интеграции штатного программного обеспечения контроллеров узлов учёта воды в

ПО «АРМ механика», посредством которого обеспечен сетевой доступ компьютера ИС УЭС к данным счётчиков воды.

Рисунок 1 – Видеокадр водоподготовки «АРМ механика»

Таким образом, заложенные в «АРМ механика» технические решения обеспечивают масштабируемость системы на протяжении всего жизненного цикла. Данное свойство необходимо учитывать как при модернизации имеющихся инженерных систем, так и при проектировании новых. В ближайшей перспективе к ПТК «АРМ механика» будут подключены вновь проектируемые вентиляционные системы стендов в здании стендового комплекса, а также модернизируемые устаревшие ВС здания стендового комплекса. Дальнейшее развитие ПТК «АРМ механика» будет способствовать сокращению обслуживающего персонала, снижению эксплуатационных расходов и, в конечном итоге, повышению экономической эффективности использования стендового оборудования.

3.9 Авторское сопровождения системы радиационного контроля Белоярской АЭС

С.В. Батраков, С.А. Мехоношин, Б.И. Щербина

Основной задачей авторского сопровождения системы радиационного контроля (АСРК) Белоярской АЭС является обеспечение работоспособного состояния АСРК в диапазоне заданных технических характеристик. Это достигается путем консультирования

эксплуатационного персонала АСРК об особенностях работы системы, включая анализ нештатных ситуаций, а также за счёт внесения изменений в программное обеспечение в соответствии с требованиями Заказчика. Степень ответственности авторского сопровождения ПТК верхнего уровня (ВУ) АСРК БАЭС определена классом безопасности АСРК (3Н) и регламентом БАЭС, в соответствии с которым запрещается эксплуатация энергоблоков АЭС при отказе АСРК более чем на три часа. Отметим, что простой каждого блока АЭС имеет очень высокую стоимость.

Особенность авторского сопровождения ПТК ВУ АСРК Белоярской АЭС, усложняющая выполнение работ – удаленность объекта от разработчиков системы на большое расстояние с двухчасовой разницей во времени. Необходимость оперативности консультаций эксплуатационного персонала по вопросам функционирования ПТК ВУ АСРК требует от разработчиков системы постоянной готовности к ответам на всевозможные вопросы, а также готовность к анализу нештатных ситуаций в работе системы. Поэтому поддержание знаний системы и рабочих мест специалистов в должном состоянии – неотъемлемая часть работ авторского сопровождения АСРК БАЭС.

В части содержания работ авторского сопровождения ПТК ВУ АСРК блоков № 3 и № 4 имеются различия, связанные с особенностями состояния обеих систем. В первую очередь, различие определялось временем эксплуатации.

АСРК блока № 3 была введена в эксплуатацию в 2010 году. Проект и поставка ПТК ВУ АСРК выполнены НИТИ им. А.П. Александрова совместно с отделом радиационного контроля СПбАЭП. Реализован ПТК ВУ АСРК в соответствии с техническим проектом, который, в свою очередь, был основан на технических решениях, апробированных на АСРК Тяньваньской АЭС. При этом технические решения, заложенные в проект, соответствовали текущему на тот момент времени состоянию элементной базы и программного обеспечения (ПО). В результате этого подхода в рамках ПТК ВУ АСРК блока № 3 были заложены соответствующие средства для диагностики и восстановления системы при отказах. В рамках авторского сопровождения ПТК ВУ АСРК налажены деловые контакты с обслуживающим персоналом и, при необходимости, НИТИ получает от БАЭС срезы БД АСРК блока № 3, по которым можно проводить начальный анализ проблем, в случае их появления.

После ввода в эксплуатацию АСРК блока № 3 НИТИ выполнял авторское сопровождение системы, в процессе которого регулярно проводилось обучение специалистов ОРБ БАЭС и выполнялись модернизации ПО. В настоящее время ПТК ВУ АСРК блока № 3 функционирует надёжно. Однако со стороны БАЭС есть предложения по дальнейшему развитию ПО системы. Они касаются улучшения эксплуатационных свойств системы (модернизация звуковой сигнализации), необходимости ввода дополнительных устройств РК и модернизации алгоритмов вычисления расчётных параметров выбросов. Перечисленные предложения проработаны разработчиками ПО ПТК ВУ АСРК и переданы БАЭС. В соответствии с программой обеспечения качества авторского сопровождения ПТК ВУ АСРК, модернизация ПО возможна только по техническому решению БАЭС, согласованному с НИТИ.

АСРК блока № 4 введена в эксплуатацию в 2015 году. К работам по авторскому сопровождению ПТК ВУ АСРК, в объёме поставки НИТИ, институт был привлечен в середине 2017 года. При этом информация о состоянии ПТК поставки НИТИ с момента ввода системы в эксплуатацию специалистам НИТИ не поступала.

На стадии рабочего проекта заказчиком были изменены решения технического проекта ПТК ВУ АСРК блока № 4, при этом некоторые системные решения не были реализованы. Кроме того, главной задачей ПНР СРК БАЭС блока № 4 была ввод АСРК в действие с целью обеспечения ввода в эксплуатацию блока № 4. В результате этого, на первом этапе авторского сопровождения специалистами НИТИ были выполнены работы по повышению надежности функционирования технических средств, разработанных НИТИ, и повышению их эксплуатационных характеристик. С момента ввода АСРК блока № 4 накопился ряд замечаний и предложений эксплуатационного персонала, которые были реализованы совместно с АО РАСУ.

В настоящее время в рамках АСРК блока № 4 не решена задача радиационного контроля при отказе по общей причине пульта РК, так как пульт не имеет резерва. Эту задачу можно решить с использованием возможностей станций сбора данных (ССД), разработанных НИТИ. Такое решение апробировано на Тяньваньской АЭС, реализовано в АСРК блока № 3 и закладывалось в технический проект АСРК блока № 4. Данная проблема обозначена в протоколе выполнения работ на ППР, но окончательное решение должна принять БАЭС.

После трёх лет эксплуатации блока № 4 БАЭС появилась необходимость в установке дополнительных стационарных устройств РК. Интеграция этих измерительных приборов в АСРК предусматривает участие специалистов НИТИ.

Таким образом, в рамках авторского сопровождения АСРК БАЭС выполняются как рутинные работы по оказанию помощи эксплуатационному персоналу БАЭС, так и разработка новых технических решений по модернизации систем с последующим развитием систем автоматизации РК.

4. НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1 Построение конечно-разностных уравнений для нахождения распределения нейтронов и их ценности в гетерогенном реакторе с несимметричными ячейками

4.2 Подготовка и проведение контрольного физического пуска Критического стенда «СКИФ»

4.3 Научно-исследовательские разработки ОТФИ

4.4 Концепция валидации РК КОРСАР на основе анализа неопределённостей

4.5 Экспериментальные исследования пространственных процессов гидродинамики на стенде «3D»

4.6 Модификация и развитие расчётного кода КОРСАР/CFD

4. НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Нейтронно-физические исследования

Традиционно в годовых отчётах НИТИ отделом нейтронно-физических исследований публиковались статьи и материалы, посвященные экспериментальным и расчётным исследованиям, выполненным при проведении испытаний на стендах института и других объектах использования атомной энергии (ОИАЭ). В данном годовом отчёте информационные материалы о деятельности ОНФИ в 2018 году открывает статья-аннотация, посвященная теоретическим работам отдела, выполненным в последнее время, и посвященным развитию методов нейтронно-физического расчёта для ОИАЭ.

Второе сообщение о деятельности отдела в 2018 году посвящено успешному выполнению работы по подготовке и проведению контрольного физического пуска критического стенда «СКИФ», которая была представлена на конкурс инженерных работ института и заняла на конкурсе призовое место.

4.1 Построение конечно-разностных уравнений для нахождения распределения нейтронов и их ценности в гетерогенном реакторе с несимметричными ячейками

А.В. Ельшин

В последние годы в научно-технической литературе опубликован цикл работ (выполнены в 2016–2018 годах), посвящённых развитию созданного Лалетиным Н.И. и Ельшиным А.В. метода поверхностных гармоник (МПГ) для построения конечно-разностных уравнений, описывающих поле нейтронов в гетерогенном реакторе, в том числе, с несимметричными ячейками.

В настоящее время одним из наиболее распространённых подходов к нейтронно-физическому расчёту ядерных реакторов является метод гомогенизации, в котором используется естественное (вытекающее из геометрии решётки) разбиение активной зоны на элементарные ячейки (pin-ячейки или ячейки ТВС). В методе гомогенизации применяется двухэтапная схема расчёта.

На первом этапе рассчитываются некоторые распределения нейтронов в элементарных ячейках реактора, с помощью которых ячейка «гомогенизируется». На втором этапе решается численными (конечно-разностными или нодальными) методами уравнение диффузии в реакторе с кусочно-постоянными свойствами. При этом явно или неявно используется определённая симметрия ячеек. В реальности, ячейки несимметричны (хотя бы из-за несимметричного выгорания), возможны также нарушения шага решётки твэлов при переходе от кассеты к кассете, имеются трудности для применения регулярной сетки в отражателе.

В выполненном цикле работ предлагается алгоритм построения системы конечно-разностных уравнений в реакторе с несимметричными ячейками (в том числе, на нерегулярной сетке) для описания поля нейтронов в гетерогенном реакторе. Метод ПГ создавался в свое время для обоснования и уточнения метода гомогенизации и выполнил свою роль. Об этом (и о практической значимости подхода) говорит то, что МПГ в низших приближениях реализован и аттестован в программном средстве (ПС) SVS для ВВЭР и в ПС СТЕПАН-4 для РБМК. В настоящее время МПГ показывает уже возможности для отказа от гомогенизации ячеек (позволяет восстановить поле нейтронов в каждой ячейке) и для отказа от диффузионного приближения при расчёте реактора в целом (используются и более высокие угловые моменты, не только плотность потока и тока нейтронов, как в диффузионном приближении), что и продемонстрировано в выполненных работах. Уточнение расчёта нейтронно-физических характеристик реактора при постоянно повышающихся требованиях к обеспечению безопасности реакторной установки всегда является актуальной задачей.

Метод поверхностных гармоник построен на представлении распределения нейтронов в каждой ячейке реактора в виде линейной комбинации некоторых «пробных» функций, которые удовлетворяют внутри ячейки уравнению переноса нейтронов и определенным граничным условиям на поверхности ячейки (с неизвестными коэффициентами линейной комбинации – амплитудами пробных функций). Из такого представления математически следуют определенные условия сшивки распределений нейтронов на границах между ячейками. Для записи условий сшивки привлечена сопряженная функция – ценность нейтронов. Условия сшивки представляют собой замкнутую систему уравнений (с учётом граничных условий на внешней границе реактора) для нахождения амплитуд пробных функций. Эту систему уравнений и для несимметричных ячеек тождественными преобразованиями удалось свести к виду, в котором основное уравнение похоже на конечно-разностную аппроксимацию группового уравнения диффузии. Слово «основное» применяется потому, что в диффузионном уравнении неизвестными величинами являются, как правило, средние групповые плотности потока нейтронов в ячейке. В МПГ количество неизвестных величин (на ячейку и на группу) может быть больше, если мы хотим учесть больше радиальных и азимутальных гармоник внутри ячейки и больше угловых моментов на границах ячейки (следовательно, и размерность системы уравнений будет больше). Более того, и для несимметричных ячеек, в том числе, показано, что на гранях ячеек выполняется некоторое соотношение взаимности, связывающее значения последовательных угловых моментов распределения нейтронов и их ценности на поверхности ячеек. Это позволяет одновре-

менно построить конечно-разностные уравнения для ценности нейтронов (тоже в групповом приближении), которые так же, как прямое и сопряженное уравнения переноса нейтронов, остаются сопряженными. Это является следствием того, что в МПГ минуется стадия получения уравнения (диффузионного) для описания поля нейтронов в реакторе в дифференциальной форме.

Конечно-разностные уравнения при несимметричных ячейках и при отказе от диффузионного приближения на границах ячеек выглядят, разумеется, более громоздкими. Тем не менее, в них всегда присутствуют однотипные элементы – конечно-разностные аналоги дифференциального оператора $\nabla_p \mathbf{D} \nabla_p \mathbf{F}(\mathbf{r})$, описывающего в диффузионном приближении скорость утечки нейтронов (из фазового объёма вблизи точки $\mathbf{r}$ вдоль направления $\mathbf{p}$).

В МПГ этот оператор удается записать в виде:

$$(\boldsymbol{\psi}_{k-1}^{n'} + \boldsymbol{\psi}_{k}^{n})^{-1}(\mathbf{R}_{k-1}^{n'}\boldsymbol{\Phi}_{k-1}^{l} - \mathbf{R}_{k}^{n}\boldsymbol{\Phi}_{k}^{l}) + (\boldsymbol{\psi}_{k}^{n'} + \boldsymbol{\psi}_{k+1}^{n})^{-1}(\mathbf{R}_{k+1}^{n}\boldsymbol{\Phi}_{k+1}^{l} - \mathbf{R}_{k}^{n'}\boldsymbol{\Phi}_{k}^{l}),$$

где $\boldsymbol{\Phi}_{k}^{l}$ – вектор неизвестных величин в ячейках, $\boldsymbol{\psi}$, $\mathbf{R}$ – некоторые функционалы пробных функций, индекс k связан с нумерацией ячеек вдоль направления $\mathbf{p}$, индекс n связан с нумерацией граней в ячейке. Этот оператор легко программируется и при решении диффузионных уравнений. Различия возникают в том, что матрицы $\boldsymbol{\psi}$, $\mathbf{R}$ при решении диффузионного уравнения являются диагональными, а в МПГ – полными, но с совершенно логично вытекающими из алгоритма метода формулами для расчёта элементов матриц.

Рекомендовано число пробных функций выбирать кратным числу граней ячейки (и, естественно, числу энергетических групп для расчёта реактора). В этом случае достаточно удобно проводить тождественные преобразования системы уравнений, так как условия сшивки распределений нейтронов на поверхности ячеек сводятся к сшивкам угловых моментов распределения нейтронов на каждой грани ячейки в отдельности. Достоинством подхода является и то, что при увеличении номера приближения МПГ (увеличения количества пробных функций в ячейке за счет использования в граничных условиях более высоких угловых моментов) вид конечно-разностных уравнений остается прежним, увеличивается лишь размерность входящих в них векторов и матриц. Удобным является также и то, что в уравнениях отсутствуют размеры ячеек (объёмы, площади граней), они «спрятаны» внутрь пробных функций за счет выбора определенных граничных условий (поэтому ячейки не обязательно должны быть квадратными, например). В работах [1, 2, 7] показано, что применение на границах ячеек сшивки не только плотности тока и потока нейтронов существенно уточняет расчёт коэффициента размножения и поля нейтронов для «малых» систем (на примере простых тестовых задач).

Важным в методе поверхностных гармоник является выбор границ элементарных ячеек реактора, с тем, чтобы описать угловое распределение нейтронов на грани ячейки меньшим количеством сферических гармоник. Влияние выбора границ на результаты решения простых тестовых задач продемонстрировано в работах [3, 4].

Отказ от диффузионного приближения на гранях ячеек реактора приводит к необходимости уточнения граничных условий и на внешних границах реактора. Приведению известных граничных условий типа Маршака и Марка к виду, удобному для МПГ, посвящены работы [5, 6]. В них приведены также результаты расчёта некоторых тестовых задач с исследуемыми граничными условиями.

Литература

1. Ельшин А.В. Конечно-разностные уравнения для распределения нейтронов и их ценности в трёхмерном гетерогенном реакторе с неструктурированной сеткой // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов. – 2016. – Вып. 5. – С. 36-44.
2. Elshin A.V. Unstructured Mesh, Abandonment From Diffusion Approximation in the Method of Surface Harmonics Proc of ANS Conf // Unifying theory and experiments in the 21st century, PHYSOR 2016, Sun Valley, May, 01-05, 2016. – P. 64-73.
3. Elshin A. The choice of core unit cells boundaries in surface harmonics method by the test tasks solving example / A. Elshin, V. Pakhomov, V. Riuchin //Journal of Physics: Conference Series, Volume 784, 2017 (012043 ICNRP-2016, 5-9 September, 2016, Moscow, Russian Federation).
4. Ельшин А.В. Метод поверхностных гармоник в одно-мерных тестовых задачах с несимметричными ячейками / А.В. Ельшин, А.Д. Пахомов, В.В. Рючин // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2017. – Вып. 1. – С. 48-55.
5. Тенищева Н.В. Вакуумные граничные условия в методе поверхностных гармоник // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2017. – Вып. 1. – С. 41-47.
6. A.V. Elshin, K. V. Muraveva, A. I. Borisenko, A A Kalutik Mark and Marshak boundary conditions in surface harmonics method 2018 J. Phys.: Conf. Ser. 1133 012017
7. Elshin A.V. Finite difference equations for neutron flux and importance distribution in 3d heterogeneous reactor with unstructured mesh // Physics of Atomic Nuclei. – 2018. – Vol. 81, No. 8. – P. 65-71.

4.2 Подготовка и проведение контрольного физического пуска Критического стенда «СКИФ»

Р.В. Борисов, Р.С. Ваховский, В.С. Гончаров, В.Ф. Панфилов, Д.Н. Филевский, Н.А. Виногоров, С.П. Дашук, Д.А. Мартюшев, А.В. Беспалов, И.И. Новиков

Контрольный физический пуск (далее – КФП) критического стенда (далее – КС) «СКИФ» в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» был проведен в соответствии с «Правилами ядерной безопасности критических стендов» НП-008-16 на основании требований технического задания на создание КС «СКИФ».

Основными целями КФП являлись:

– проверка соответствия проектных характеристик критического стенда экспериментальным данным;

– экспериментальное подтверждение выполнения требований по обеспечению ядерной безопасности КС «СКИФ»;
– получение экспериментальных данных, необходимых для оформления паспорта КС «СКИФ».

КФП КС «СКИФ» был выполнен после окончания монтажа систем и оборудования стенда, проведения их комплексного опробования, проверки готовности к проведению КФП межведомственной комиссией, сформированной по решению Госкорпорации «Росатом».

Помимо систем сборки критической (далее – СК), разработанных АО «НИКИЭТ», для обеспечения КФП КС «СКИФ» в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» были спроектированы, изготовлены, смонтированы и введены в эксплуатацию автоматизированная система научных исследований (АСНИ), автоматизированная система радиационного контроля (АСРК), нештатные каналы контроля плотности нейтронного потока, модернизированы системы управления техническими средствами стендового комплекса.

К началу КФП ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» были разработаны и оформлены в установленном порядке:

– отчет по обоснованию безопасности КС «СКИФ»;
– рабочая программа КФП;
– инструкция по обеспечению ядерной безопасности при обращении с ядерным топливом на КС «СКИФ»;
– программа комплексного опробования систем КС «СКИФ»;
– руководство по эксплуатации КС «СКИФ»;
– руководство по эксплуатации АСНИ;
– инструкция по эксплуатации АСРК;
– технологические инструкции по проведению входного контроля и загрузки твэлов в сборку критическую (далее – СК), положение о группе контрольного физического пуска, эксплуатационная документация на системы и оборудование КС.

Помимо разработки вышеуказанных документов, специалисты ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» оказывали активное содействие АО «НИКИЭТ» в разработке программы КФП. Необходимо отметить, что подготовка к КФП проведена специалистами института в сжатые сроки.

Работы по проведению КФП были выполнены в ноябре-декабре 2018 года персоналом группы контрольного физического пуска, назначенной приказом генерального директора института, и включали в себя: проведение входного контроля твэлов и их загрузку в СК, вывод СК в критическое состояние, проведение нейтронно-физических измерений.

В результате КФП были определены: критическая загрузка СК, критические положения рабочих органов регулирования при проектной загрузке СК (и промежуточных загрузках), эффективность (дифференциальная и интегральная) рабочих органов регулирования и аварийной защиты, запас реактивности СК при проектной загрузке. Получены уникальные данные по нейтронно-физическим характеристикам газоохлаждаемой активной зоны с быстрым спектром нейтронов, позволяющие верифицировать программы физического расчёта, а также подтвердить работоспособность каналов контроля СК и безопасность экс-

плуатации КС «СКИФ» в соответствии с требованиями НП-008-16.

По итогам проведения КФП был подготовлен Акт, утвержденный руководством Госкорпорации «Росатом», на основании которого был оформлен паспорт КС «СКИФ», и, в соответствии с приказом генерального директора института, критический стенд введен в эксплуатацию.

Предварительные результаты нейтронно-физических исследований СК КС «СКИФ», выполненных при проведении КФП, представлены в отчёте.

Необходимо отметить, что КС «СКИФ» является первым критическим стендом, введенным в эксплуатацию за многолетнюю историю ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», а также первым стендом на предприятиях Госкорпорации «Росатом», предназначенным для исследования активных зон газоохлаждаемых ядерных реакторов на быстрых нейтронах.

В работах по подготовке и проведению КФП КС «СКИФ» также принимали участие специалисты и других подразделении института.

Теплофизические исследования

4.3 Научно-исследовательские разработки ОТФИ

Ю.А. Мигров

Наряду с выполнением задач государственного оборонного заказа в 2018 году научно-исследовательские работы в отделе выполнялись в нескольких направлениях. Важнейшими и наиболее трудоёмкими из них являлись работы по созданию совместно с ОНФИ нового системного связного расчётного кода для поддержки проектирования и обоснования безопасности современных и инновационных проектов РУ с ВВЭР. В 2018 году, в основном, были завершены работы по совершенствованию функционального наполнения и интерфейсных программных средств расчётного кода, включая:

- разработку и адаптацию в составе функционального наполнения программы нестационарного нейтронно-физического расчёта активной зоны в потвэльном приближении;
- отладку трёхжидкостной модели нестационарной теплогидравлики двухфазных потоков, обеспечивающей дифференциальное моделирование жидкой фазы (пленка и капли) в дисперсно-кольцевых режимах;
- совершенствование CFD-модуля и разработку графического интерфейса пользователя.

В 2018 году продолжались работы по формированию базы экспериментальных данных на основе результатов испытаний стендовых установок КВ-2 и КМ-1. Одним из факторов, актуализирующих необходимость сохранения уникальных экспериментальных данных, полученных при испытаниях установок в НИТИ, является возможность их использования в качестве верификационной базы для валидации сопряженных нейтронно-физических и теплогидравлических моделей динамики ЯЭУ. Отдел теплофизики является головным в институте по этому направлению работ.

В рамках технической поддержки эксплуатации расчётного кода (РК) КОРСАР в проектно-конструкторских организациях АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» и АО «Атомпроект» в 2018 году впервые были организованы курсы обучения специалистов-пользователей РК КОРСАР (до 20 человек) на территории ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». Положительные (по отзывам) результаты этой работы позволяют планировать ее проведение в дальнейшем.

С 25 октября по 2 ноября 2018 года в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» по инициативе МАГАТЭ с участием специалистов АНО ДПО «Техническая академия Росатома» и НИТИ был организован учебный курс по применению кодов для анализа безопасности реакторов с водой под давлением типа ВВЭР, оснащенных усовершенствованными средствами безопасности. Данное мероприятие, в котором приняли участие специалисты Армении, Белоруссии, Болгарии, Венгрии, Словакии, проводилось в рамках регионального проекта технического сотрудничества RER9144 «Создание потенциала в области развития инфраструктуры и оценки безопасности для применения технологии водо-водяных энергетических реакторов, оснащенных усовершенствованными средствами безопасности (ВВЭР/PWR)».

Заметным событием 2018 года был организованный на базе ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» межотраслевой семинар «Моделирование динамики ЯЭУ (разработка программных средств, верификация, оценка точности расчёта)», на котором ОТФИ были представлены четыре доклада. В Решении семинара, утвержденном руководством Госкорпорации «Росатом», в частности, обращается внимание на острый дефицит в отрасли локальных экспериментов по различным явлениям в двухфазных потоках.

В целях восполнения указанного дефицита руководством института принято решение о развитии теплофизической базы в двух направлениях:

- освоение технологии 3D измерений гидродинамических параметров современными оптическими методами (ЛДИС, PIV);
- создание стенда ИСТП для изучения физических явлений двухфазных потоков.

Что касается первого направления, то ниже в статье представлены некоторые результаты решения отдельных локальных задач.

По второму направлению осуществлялись проектно-конструкторские работы и закупки необходимого оборудования.

В целом, запланированная программа НИОКР на 2018 год отделом теплофизики успешно выполнена.

4.4 Концепция валидации РК КОРСАР на основе анализа неопределенностей

А.С. Грицай, Ю.А. Мигров

Введение

В настоящее время при расчётном обосновании безопасности атомных станций (АС) в соответствии с требованиями нормативных документов [1] необходимо выполнять оценку погрешности и неопределенности получаемых результатов расчёта. Однако методологические аспекты проведения указанной оценки никак не регламентируются.

Как правило, для этого используют результаты оценки погрешности расчёта важных для безопасности параметров, приводимые в аттестационном паспорте используемого программного средства (ПС).

Паспортные погрешности, в свою очередь, устанавливаются в процессе валидации ПС путем сравнения расчётных и экспериментальных данных и анализа максимальных расхождений между ними. Очевидно, что указанная процедура уже проходит в условиях действия неопределенностей: на результаты расчёта влияют модельные неопределенности (нодализация объекта, параметры замыкающих соотношений), а на результаты эксперимента – инженерные (погрешности системы измерений, технологические отклонения и т.д.) и режимные.

Серьезные проблемы переноса полученных результатов на натурный объект связаны также с так называемым масштабным фактором.

Данные обстоятельства ставят под сомнение правомерность прямого переноса паспортных погрешностей ПС на результаты расчёта АС (за исключением тех, которые получены непосредственно на натурном объекте), поскольку формируемые на основе ПС расчётные модели в каждом конкретном случае обладают индивидуальным набором исходных неопределенностей и индивидуальной совокупностью проявляющихся в расчёте физических процессов.

Один из способов решения проблемы заключается в выполнении процедуры оценки погрешности расчёта по ПС с помощью статистических методов, в частности, метода GRS [2]. Данный метод основан на проведении многовариантных расчётов с разными комбинациями значений исходных неопределенностей и последующей статистической обработке совокупности результатов. В перспективе обсуждается возможность включения указанного метода в руководящие документы Ростехнадзора [3].

Вместе с тем, объективность результатов, получаемых с помощью метода GRS, определяется, главным образом, обоснованностью статистических характеристик исходных неопределенностей (диапазонов неопределенности и законов распределения). В этой задаче происходит логичное разделение сфер ответственности – характеристики неопределенностей инженерной группы предоставляют проектанты, а обоснование модельных неопределенностей ПС возлагается на разработчиков ПС.

Обоснование модельных неопределенностей может быть выполнено в рамках валидации ПС, однако это требует соответствующей эволюции как в методологии ее проведения, предполагающей применение статистических процедур, так и в представлении ее результатов.

В данной работе предлагается подобная методология, развиваемая разработчиками расчётного кода (РК) КОРСАР и основанная на применении анализа неопределенности и чувствительности (АНЧ). Также представлены результаты ее применения, полученные к настоящему времени.

Основные методологические задачи, требующие решения при валидации ПС на основе анализа неопределенности

Валидация в своей основе предполагает сопоставление результатов расчётов с соответствующими экспериментальными данными и оценку полученных расхождений. Если говорить о традиционной методологии валидации по результатам, например, локальных экспериментов, для которых характерна серийность реализации, то обычно погрешность оценивают по результатам расчёта всей серии экспериментов. При этом определяется не-

кий диапазон, характеризующий разброс расчётных значений по отношению к экспериментальным. Указанный подход, во-первых, не предполагает оценку неопределенности конкретных модельных параметров ПС, ответственных за расчёт того или иного явления, а направлен на оценку совокупного влияния неопределённостей моделей ПС. Во-вторых, он не дает статистической оценки неопределенности результатов расчёта. Соответственно, результаты валидации при таком подходе могут быть использованы для выполнения оценки погрешности методом GRS.

При валидации кода на основе анализа неопределённостей акцент делается на обоснование неопределённостей конкретных модельных параметров кода, в соответствии с этим, методологически она (валидация) предполагает решение следующих основных задач:

- формирование перечня модельных параметров ПС, относящихся к категории неопределенных и оказывающих существенное влияние на результаты расчёта критериев безопасности;
- обоснование статистических характеристик для каждого модельного параметра из сформированного перечня;
- проверка результирующего влияния неопределённостей модельных параметров на результаты расчёта критериев безопасности.

По результатам валидации формируется перечень доступных для варьирования модельных параметров ПС с обоснованными для них статистическими характеристиками. Данный перечень включается, помимо прочих атрибутов, в аттестационный паспорт ПС.

Далее рассматривается технология решения указанных выше задач применительно к РК КОРСАР.

Методика формирования перечня модельных параметров ПС

К модельным параметрам ПС относятся, прежде всего, замыкающие соотношения (ЗС) блока контурной теплогидравлики. Поскольку данные соотношения получают на основе полуэмпирического подхода, то они являются одними из основных источников неопределенности (погрешности) расчёта по ПС.

Формируемый перечень ЗС должен обеспечивать достаточную полноту их охвата с учётом значимости с точки зрения влияния на результаты расчёта.

Обычно указанный перечень формируется на основе экспертного подхода, в частности, он был использован для РК КОРСАР на этапе освоения метода GRS. Данный перечень приведен в *таблице 1*.

Для возможности варьирования ЗС из указанного перечня в РК КОРСАР в программную часть кода, содержащую ЗС блока контурной теплогидравлики, введён вещественный массив AOUAS$. Каждый элемент указанного массива является множителем к ЗС (либо некоторой совокупности ЗС). Исходно все элементы массива инициализируются единицами. При необходимости имеется возможность из файла входных данных задавать, например, экспертно, отличные от единицы значения элементов этого массива, что, естественно, приводит к изменению значений соответствующих параметров при расчётах с помощью РК КОРСАР.

Вместе с тем следует отметить, что экспертный подход сопряжен с субъективизмом оценок, что может приводить, в частности, к формированию неоправданно объёмных перечней, при котором в них, из консервативных соображений, включаются малозначимые ЗС.

Выходом в такой ситуации может быть проверка значимости ЗС сформированного экспертами перечня с помощью анализа чувствительности. С этой целью методом GRS для выбранных интегральных экспериментов, либо перечня аварийных режимов выполняется анализ чувствительности результатов расчёта наиболее важных критериев безопасности. Все параметры ЗС при этом варьируются в равных пределах, например, ±15 % от базового значения. По результатам выявляются ЗС, оказавшие наиболее значимое влияние на результаты расчёта.

Таблица 1

Перечень ЗС РК КОРСАР, учитываемых при выполнении анализа неопределенности результатов расчёта методом GRS

№ AOUA$	Наименование параметра	Значимость		
		ПСБ-ВВЭР	РУ с ВВЭР Большая течь	РУ с ВВЭР Обесто-чивание
	Коэффициенты межфазного трения:			
1	– в пузырьковом и снарядном режимах	+	+	
2	– в дисперсно-кольцевом режиме			
3	– в дисперсном режиме			
4	– в обращенном кольцевом режиме			
5	– в режиме расслоенного течения			
	Коэффициенты трения о стенку:			
6	– жидкой фазы в пузырьковом и снарядном режимах	+	+	
7	– газовой фазы в дисперсном режиме		+	
8	– жидкой фазы о стенку в дисперсно-кольцевом режиме			
9	– жидкой фазы в режиме расслоенного течения			
10	– газовой фазы в режиме расслоенного течения			
11	– газовой фазы в обращенном кольцевом режиме			
	Коэффициенты межфазного теплообмена:			
12	– жидкой фазы в пузырьковом режиме ($T_f < T_s$)	+		
13	– жидкой фазы в снарядном режиме ($T_f < T_s$)			
14	– жидкой фазы в дисперсно-кольцевом режиме ($T_f < T_s$)			
15	– жидкой фазы в режиме расслоенного течения ($T_f < T_s$)			
16	– жидкой фазы в обращенном кольцевом режиме			
17	– жидкой фазы при $T_f > T_s$			
18	– газовой фазы в дисперсно-кольцевом режиме ($T_g > T_s$)			
19	– газовой фазы в режиме расслоенного течения ($T_g > T_s$)			
20	– газовой фазы в обращенном кольцевом режиме			
21	– газовой фазы в дисперсном режиме ($T_g > T_s$)		+	
	Коэффициенты теплообмена со стенкой:			
22	– жидкой фазы в режиме докризисного кипения		+	
23	Доля теплового потока от стенки, идущая на генерацию пара в режиме докризисного кипения			
24	– жидкой фазы в режиме конвективного теплообмена	+	+	+
25	– жидкой фазы в режиме пленочной конденсации	+		

№ AOUA$	Наименование параметра	Значимость		
		ПСБ-ВВЭР	РУ с ВВЭР Большая течь	РУ с ВВЭР Обесто-чиване
26	– жидкой фазы в дисперсном режиме			
27	Добавка к коэффициенту теплообмена жидкой фазы (усиление теплообмена) при повторном заливе вблизи фронта смачивания		+	
28	– газовой фазы в обращенном кольцевом режиме			
29	– газовой фазы в дисперсном режиме		+	
30	Критический тепловой поток			
31	Минимальная температура смачивания поверхности стенки	+		
32	Граничное объёмное паросодержание перехода обращенного кольцевого режима течения в дисперсный			
33	Граничное объёмное паросодержание перехода дисперсного режима течения в обращенный кольцевой		+	
34	Критическое массовое паросодержание в круглых трубах			
35	Критическое значение числа Вебера для расчёта среднего диаметра капель в пузырьковом и снарядном режимах при течении в жидкости вертикальных каналах			
36	При большом градиенте паросодержания вдоль канала – составляющая коэффициента межфазного теплообмена со стороны недогретой жидкости, учитывающая естественную конвекцию			

В качестве примера, в *таблице 1* приведен подобный анализ, выполненный для трёх динамических режимов. Анализировалось влияние ЗС, представленных в *таблице 1*, на максимальную температуру оболочки твэла (либо имитатора твэла). Значимые ЗС, проявившиеся в расчёте, помечены знаком «+».

Обоснование статистических характеристик модельных параметров по результатам локальных стационарных экспериментов

Реальная возможность объективной оценки неопределенности заложенных в РК ЗС заключается в сопоставлении результатов расчётов, полученных с применением того или иного ЗС, с соответствующими статистически значимыми экспериментальными результатами.

В данной процедуре можно выделить три последовательных этапа:

1. Выбор экспериментов.

Основные критерии выбора: статистическая значимость результатов, оценка погрешностей измерения параметров в экспериментах, локальный характер экспериментов (одно-два исследуемых явления в одном эксперименте), подробное описание стендовой установки, воспроизводимость эксперимента кодом на качественном уровне, широта охвата по режимным параметрам.

2. Установление ключевых ЗС (одного либо двух), оказывающих решающее влияние на результаты расчёта выбранного эксперимента. Реализация данного этапа проводится с помощью анализа чувствительности (корреляционного анализа) результатов расчёта кодом выбранного эксперимента к неопределенности ЗС. Важность данного этапа обусловлена необходимостью объективного установления доминантных ЗС в условиях их комплексной «ра-

боты» в составе кода с целью подтверждения правомерности переноса последующей статистической обработки расчётно-экспериментальных данных на выявленные ключевые ЗС.

3. Обоснование неопределенностей доминантных ЗС.

Для случая одного значимого ЗС выполняется серия расчётов с пошаговым изменением диапазона неопределенности доминантного ЗС (связанного с ним элемента AOUAS$), начиная от базового значения, равного 1. На каждом шаге определяется количество экспериментальных точек, попадающих в диапазон, определенный расчётом. По результатам строится эмпирическая гистограмма распределения, которая затем обрабатывается вероятностными методами. В результате устанавливается диапазон неопределенности ЗС (диапазон неопределенности расчёта соответствующего модельного параметра), устанавливаемый по критерию попадания в него не менее 95 % экспериментальных точек, а также закон распределения в указанном диапазоне. Подобный частный случай детально изложен в [4].

Ситуацию с двумя независимыми значимыми ЗС можно рассматривать как вариант, в котором каждой паре возможных значений случайных величин X_1 и X_2 соответствует одно возможное значение величины Y, которой является исследуемый параметр. Действительно, при этом каждый вариантный расчёт с использованием своей пары независимых случайных значений значимых ЗС (X_1 и X_2) дает единственное значение рассчитываемого параметра Y, количественно зависящее, при прочих равных условиях, только от значений X_1 и X_2. В этом случае математическая статистика определяет Y как функцию двух случайных аргументов $Y = f(X_1, X_2)$ [5]. Если исходить из принципа аддитивного влияния неопределенности (погрешности) X_1 и X_2 на неопределенность расчёта параметра Y, то плотность распределения Y будет являться композицией X_1 и X_2. Известно, что если X_1 и X_2 являются независимыми случайными величинами с нормальным законом распределения, то их композиция также распределена нормально, причем, математическое ожидание (МО) и дисперсия (D) композиции равна сумме МО и D слагаемых [6]. Соответственно, для нормального распределения можно решить и обратную задачу – по известным характеристикам композиции и одного из рассматриваемых аргументов найти статистические характеристики второго аргумента. Поскольку распределение результатов измерений в теплофизических экспериментах, в большинстве случаев, соответствует нормальному закону, а число проявляющихся в локальных экспериментах явлений невелико, подобная ситуация является весьма распространенной.

По аналогии может быть решена и задача с несколькими значимыми ЗС в случае их попарной независимости. При этом обоснование неопределенности анализируемого ЗС проводится по результатам ранее выполненной оценки статистических характеристик прочих значимых ЗС. Таким образом, в рамках предлагаемого метода рекомендуется вначале использовать эксперименты, при расчёте которых значимым является одно физическое явление и, соответственно, одно ЗС, с последующим переходом к общим ситуациям. Вместе с тем, использовать результаты экспериментов с проявлением множества значимых ЗС следует с осторожностью, поскольку при этом возможно накопление методической погрешности и ее перенос на определяемые характеристики искомого ЗС.

Далее представлены примеры, демонстрирующие описанный метод.

Случай одного значимого ЗС

При обосновании неопределённостей ЗС РК КОРСАР были, в частности, использованы результаты опытов по измерению величины коэффициента трения в гидродинамически

гладких трубах в зависимости от числа Рейнольдса (λ = f(Re)), проведенных в Принстоне [6] и Орегоне [7]. Массив экспериментальных данных содержал 54 точки в диапазоне чисел Re от 2227 до 35540000.

Результаты расчёта данного параметра с помощью РК КОРСАР в сопоставлении с данными [6, 7] представлены на *рисунке 1* и демонстрируют хорошее воспроизведение кодом экспериментальных данных.

Установление доминантных ЗС, оказывающих наибольшее влияние на результаты расчёта, осуществлялось с помощью анализа чувствительности результатов расчёта к неопределенности ЗС РК КОРСАР. При этом варьировались все 36 ЗС РК КОРСАР в пределах ±15 % от базового значения. Инструментом анализа являлась программа ПАНДА (разработка ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»). Результаты анализа представлены на *рисунке 2* в виде гистограммы коэффициентов ранговой корреляции Спирмена (КРКС), показывающих степень влияния варьируемого параметра (ЗС) на исследуемый процесс.

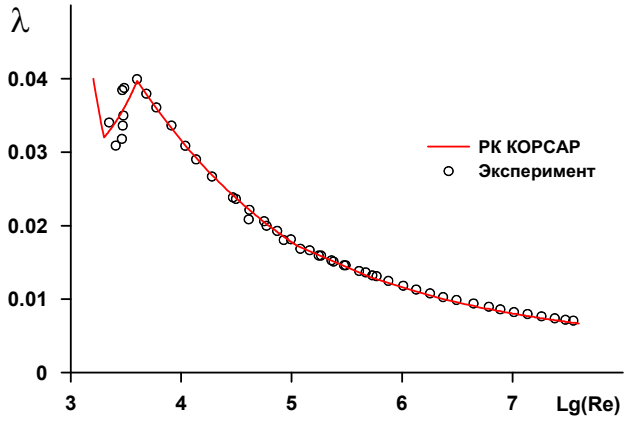


Рисунок 1 – Сравнение расчётных (РК КОРСАР) и экспериментальных ([6, 7]) данных

Варьируемый параметр считается значимым, если для него |КРКС| > 0,3. С ростом |КРКС| степень влияния увеличивается. При |КРКС| = 1 можно говорить о полной взаимосвязи между параметрами. Как следует из *рисунка 2*, из 36-ти анализируемых ЗС доминантным является 6-е (см. *таблицу 1*). Следовательно, можно выполнить обоснование неопределенности указанного ЗС, не опасаясь влияния прочих соотношений.

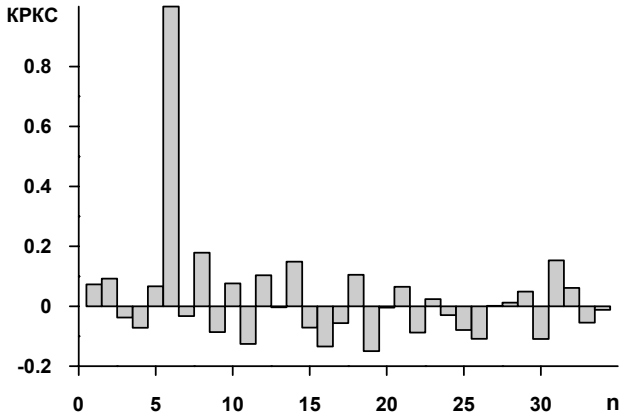


Рисунок 2 – Результаты анализа чувствительности (одно значимое ЗС)

Данная процедура выполнялась следующим образом. Была выполнена серия вариантных расчётов с изменением базового значения ЗС № 6 равными шагами по 2 %, начиная от базового значения θ = 1,0 (AOUAS$(6) = 1,0÷1,02; 1,02÷1,04 и т.д.). На каждом шаге определялось количество экспериментальных точек, охватываемых полученным расчётным диапазоном. Сформированная таким образом выборка, плотность распределения p(x) которой в виде гистограммы представлена на *рисунке 3*, обрабатывалась методами математической статистики. В результате для AOUAS$(6) были установлены следующие характеристики: МО = 1,013, среднеквадратическое отклонение σ = 0,03, а также (с помощью критерия согласия Пирсона) обоснован нормальный закон распределения. Диапазон неопределенности устанавливался на основе правила «двух сигм» и составил 0,953÷1,073.

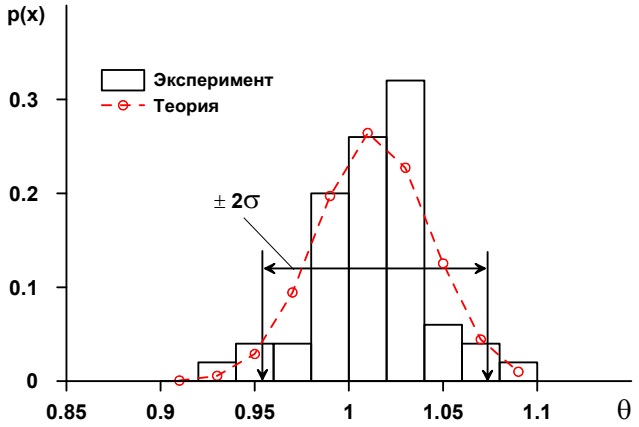


Рисунок 3 – Результаты обработки сформированной выборки (случай одного значимого ЗС)

В РК КОРСАР для описания дисперсно-кольцевого режима используется модель раздельного трения фаз [8], предполагающая, что в контакте со стенкой находится лишь жидкая фаза. При этом, для расчёта коэффициента трения жидкой фазы о стенку (ЗС № 8) в указанном режиме используются те же зависимости, что и для случая однофазного течения жидкости в канале с той разницей, что в качестве определяющего размера при вычислении Re жидкой пленки используется эквивалентный диаметр, зависящий от истинного объёмного паросодержания, а в качестве скорости – скорость пленки.

В этой связи, исходя из особенностей модельного представления рассматриваемого процесса, можно принять допущение о возможности распространения полученных результатов оценки неопределенности ЗС № 6 на ЗС № 8.

Случай двух значимых ЗС

Подобная ситуация возникает при использовании в рамках рассматриваемого метода экспериментов по изучению пароводяных потоков, выполненных в ФЭИ [9, 10]. В указанных экспериментах, в частности, исследовалась зависимость истинного объёмного паросодержания φ от относительной энтальпии потока x в вертикальной круглой трубе внутренним диаметром 17 мм. Измерения осуществлялись двумя способами: с помощью γ – просвечивания и методом изокинетического пробоотбора. Для анализа было отобрано 70 экспериментальных точек, полученных при давлениях P = 6,86 и 9,8 МПа; массовых скоростях ρw = 500, 750, 1000 кг/(с·м^2) и x = 0,1÷0,5.

Результаты расчёта типичного эксперимента по РК КОРСАР представлены на *рисунке 4* и демонстрируют приемлемое качество воспроизведения кодом данных опыта.

Результаты анализа чувствительности, представленные в виде гистограммы значений КРКС 36-ти варьируемых параметров на *рисунке 5*, позволили установить, что количественно результаты расчёта данного режима в решающей степени определяются следующими параметрами (см. *таблицу 1*):

– коэффициентом межфазного трения в дисперсно-кольцевом режиме (ЗС № 2);

– коэффициентом трения жидкой фазы о стенку в дисперсно-кольцевом режиме (ЗС № 8).

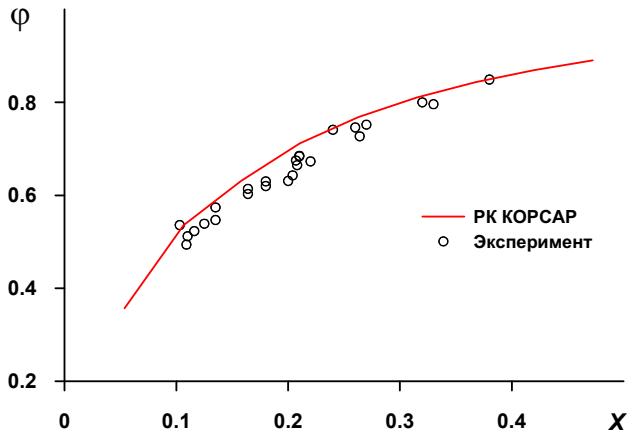


Рисунок 4 – Сравнение результатов расчётов по РК КОРСАР с данными [10]

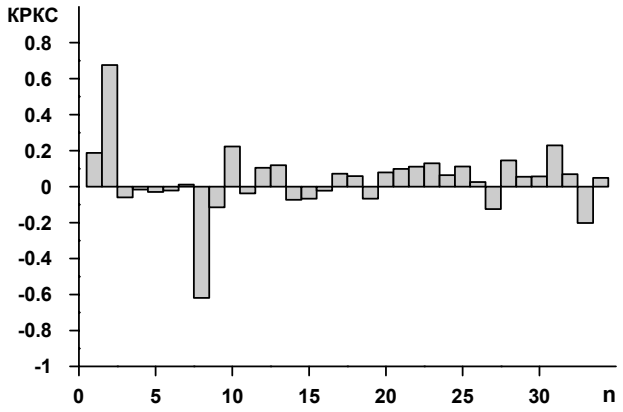


Рисунок 5 – Результаты анализа чувствительности расчёта φ для режимных параметров: p = 9,8 МПа; ρw = 1000 кг/(с·м²); x = 0,25

Оба параметра примерно в равной степени влияют на расчёт истинного объёмного паросодержания (|КРКС| ≈ 0,6), однако с разной направленностью – увеличение межфазного трения влечет за собой рост φ, тогда как увеличение коэффициента трения жидкой фазы о стенку приводит к обратному эффекту.

Влиянием прочих варьируемых параметров на расчёт φ можно пренебречь, посколь-

ку для них значения КРКС, как следует из *рисунка 5*, ниже порога значимости, соответствующего значению |0,3|.

Если принять предположение о независимости ЗС № 2 и ЗС № 8 как случайных величин (во всяком случае, в РК КОРСАР прямая функциональная связь между данными соотношениями отсутствует), то результаты расчёта φ(x) можно рассматривать как функцию двух независимых случайных величин, статистические характеристики одной из которых (коэффициента трения жидкой фазы о стенку в дисперсно-кольцевом режиме – ЗС № 8) являются известными.

Для установления статистических характеристик композиции применялся методически тот же способ, что и в случае с одним значимым ЗС, со следующей особенностью: в вариантных расчётах, выполняемых для построения гистограммы плотности вероятности осуществлялось одновременное изменение диапазона неопределенности ЗС № 8 и ЗС № 2 (соответствующих AOUAS$(8) и AOUAS$(2)) с равным шагом 10 % от базового значения θ, равного 1. На каждом шаге определялось количество точек, охватываемых расчётом. Сформированная таким образом гистограмма с результатами ее обработки представлена на *рисунке 6*.

Было установлено, что плотность распределения композиции подчиняется нормальному закону с МО = 0,848 и σ = 0,132. Указанные данные позволили, в свою очередь, определить, искомые статистические характеристики ЗС № 2 (соответствующего ему множителя AOUAS$(2)): закон распределения – нормальный, МО = 0,835, σ = 0,128.

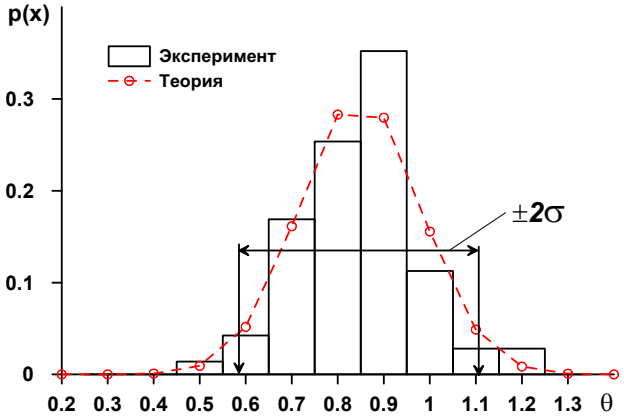


Рисунок 6 – Результаты обоснования статистических характеристик композиции

Результаты оценки неопределённости некоторых ЗС РК КОРСАР

Описанный метод был применен для обоснования статистических характеристик ряда модельных параметров РК КОРСАР. Результаты обоснования, полученные к настоящему времени, представлены в *таблице 2*. Полученные результаты могут быть использованы при выполнении анализа неопределённостей с помощью РК КОРСАР методом GRS.

Таблица 2

Статистические характеристики неопределенностей некоторых ЗС РК КОРСАР

Номер модельного параметра (AOUAS$) РК КОРСАР в соответствии с таблицей 1	МО	СКО	Закон распределения
2	0,835	0,128	Нормальный
6	1,013	0,03	
8	1,013	0,03	
23	1,3	0,172	
29	0,754	0,04	
34	0,976	0,038	

Проверка результирующего влияния неопределённостей модельных параметров на результаты расчёта критериев безопасности

Для проверки результирующего влияния неопределённостей ЗС РК КОРСАР на расчёт критериев безопасности был выбран режим РУ ВВЭР-1000 при аварии с большой течью холодной нитки петли теплообмена. В расчёте была использована распределенная модель активной зоны (163 ТВС). Варьировались все параметры *таблицы 1* за исключением параметра № 31, поскольку вопросы как о допустимости варьирования данного параметра, так и о его диапазоне неопределенности в настоящее время находятся в стадии обсуждения специалистами. Неопределенности, относящиеся к категории инженерных, не учитывались.

Статистические характеристики варьируемых параметров ЗС принимались следующим образом:

– для обоснованных по изложенной в докладе методике в соответствии с *таблицей 2*;
– для всех прочих экспертно принимался диапазон неопределенности ±15 % с нормальным законом распределения.

Результаты расчёта максимальной температуры оболочки твэла в виде трубки неопределенности представлены на *рисунке 7* (базовый расчёт показан красным цветом). Видно, что верхняя граница трубки неопределенности не превышает температуру 1 200 °С.

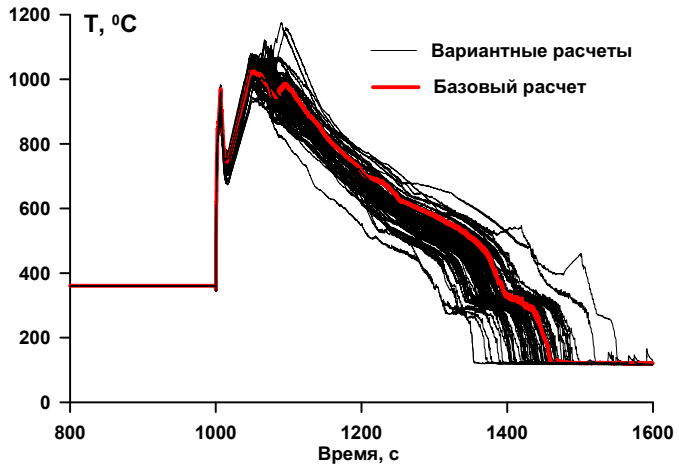


Рисунок 7 – Результаты анализа неопределенности расчёта максимальной температуры оболочки твэла при варьировании параметров ЗС РК КОРСАР

Заключение

1. Предложена концепция валидации РК КОРСАР на основе анализа неопределенности, обеспечивающая возможность обоснования статистических характеристик модельных параметров ПС.
2. Рассмотрены и на практических примерах продемонстрированы основные этапы реализации указанной концепции на примере РК КОРСАР.
3. Представлены результаты обоснования статистических характеристик некоторых ЗС РК КОРСАР, полученные к настоящему времени.
4. Проанализировано результирующее влияние неопределённостей модельных параметров РК КОРСАР на результаты расчёта максимальной температуры оболочки твэла в аварии с большой течью РУ ВВЭР-1000.

Литература

1. Общие положения безопасности атомных станций: НП-001-15: утверждены Ростехнадзором 17 декабря 2015 г., введ. с 16 февраля 2016 г. – М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2016.
2. Glaeser H. GRS Method for Uncertainty and Sensitivity Evaluation of Code Results and Applications // Science and Technology of Nuclear Installations. – 2008. – URL:http://dx.doi.org/10.1155/2008/798901.
3. Об оценке погрешностей расчётов, выполняемых при обосновании безопасности объектов использования атомной энергии / С.Н. Богдан, О.М. Ковалевич, Н.А. Козлова, С.А. Шевченко, Д.А. Яшников // Ядерная и радиационная безопасность. – 2017. – № 2. – С. 38 – 53.
4. Оценка неопределенностей моделей теплогидравлических расчётных кодов / А.С. Грицай, Ю.А. Мигров // Теплоэнергетика. – 2015. – № 9. – С. 45-51.
5. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 2003.
6. Pipe flow measurements over a wide range of Reynolds number using liquid helium and various gases/ C.J. Swanson, B. Julian, G.G. Ihas, R.J. Donnelly // J. Fluid Mech. – 2002. – Vol. 461. – P. 51-60.
7. Friction factors for smooth pipe flow / B.J. McKeon, C.J. Swanson, M.V. Zaragola, R.J. Donnelly, A.J. Smith // J. Fluid Mech. – 2004. – Vol. 511. – P. 41-44.
8. Юдов Ю.В. Замыкающие соотношения теплогидравлической модели расчётного кода КОРСАР/ Ю.В. Юдов, С.Н. Волкова, Ю.А. Мигров // Теплоэнергетика. – 2002. – № 11. – С. 22-29.
9. Измерение некоторых характеристик парожидкостного потока в круглой трубе при давлении 68.6 бар: препринт ФЭИ № ФЭИ-421/ П.Л. Кириллов [и др.] . – Обнинск: ФЭИ, 1973. – 104 с.
10. Результаты комплексных экспериментов по изучению гидродинамических характеристик дисперсно-кольцевого пароводяного потока высокого давления в трубе: препринт ФЭИ № ФЭИ-1447 / П.Л. Кириллов [и др.] . – Обнинск: ФЭИ, 1983. – 21 с.

4.5 Экспериментальные исследования пространственных процессов гидродинамики на стенде «3D»

О.Д. Чёрный, С.С. Чепилко, П.Ю. Климов, А.С. Сазонтов, И.А. Иванов

В 2018 году на основании решения НТС института о создании в ОТФИ экспериментальной базы по исследованию 3-х мерных задач гидродинамики с использованием современных бесконтактных (оптических) средств измерения на базе стенда КМС в зд. 962 был создан стенд «3D» (зав. № 939-11-18, ЛКВШ 17.803.0000.00).

В состав стенда «3D», принципиальная схема которого представлена на *рисунке 1*, входят следующие основные узлы и системы:

- циркуляционный контур;
- рабочие участки (РУ1 «Вихревая дорожка Кармана», РУ2 «Тройник» и РУ3 «Бассейн»);
- система электроснабжения;
- лазерная доплеровская измерительная система «ЛАД-05С»;
- система визуализации полей скорости и полей температуры в потоках жидкости и газа (ПОЛИС 3-С-200-4-ПЛИФ-СБ);
- высокоскоростная видеокамера Evercam 4000-64-M (частота – 5600 кадров в секунду);
- АРМ-оператора стенда ИВКУ КМС.

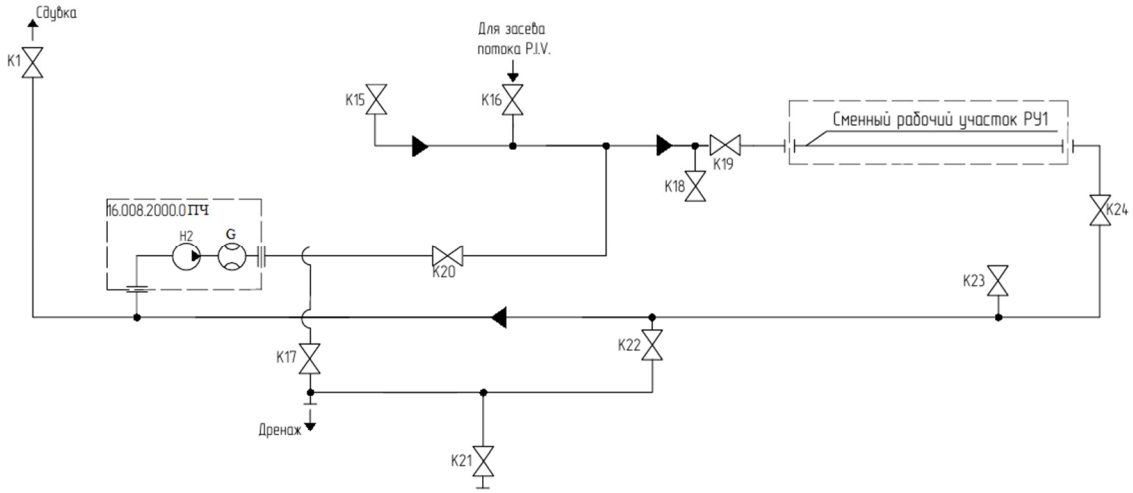


Рисунок 1 – Принципиальная схема стенда «3D» с РУ1

Фотография стенда «3D» с РУ1 представлена на *рисунке 2*. Контроль и регистрация параметров стенда (расход G, давление и температура в контуре) производился с помощью ИВКУ КМС.

В течение 2018 года в режиме опытной эксплуатации стенда «3D» сотрудниками ОТФИ проводились экспериментальные исследования на рабочем участке «Вихревая дорожка Кармана» (РУ1), предназначенном для исследования пространственных вихревых явлений и отрывов вихрей при различных режимах течения.

Целью данной работы являлось освоение оптических средств измерения характеристик потока жидкости типа «ЛАД-05С» (двухкомпонентного полупроводникового лазерного анемометра) и «ПОЛИС 3-С-200-4-ПЛИФ-СБ» (системы визуализации и измерения полей скорости и температуры в потоках жидкости) и получение опытных данных для валидации трёхмерного CFD-модуля РК КОРСАР.

Рисунок 2 – Фотография стенда «3D»

Измерения характеристик потока (полей скоростей жидкости) и визуализация процесса вихреобразования («дорожек Кармана») за телом обтекания выполнялись в прозрачном канале квадратного сечения, входящем в состав рабочего участка №1 (РУ1) стенда «3D».

Рабочий участок РУ1 (*рисунок 3*) состоит из прозрачного канала измерения (поз. 3), успокоительных участков (поз. 2 и поз. 5), конусных переходов (диффузоров) (поз. 1 и поз. 6) и тела обтекания (поз. 4).

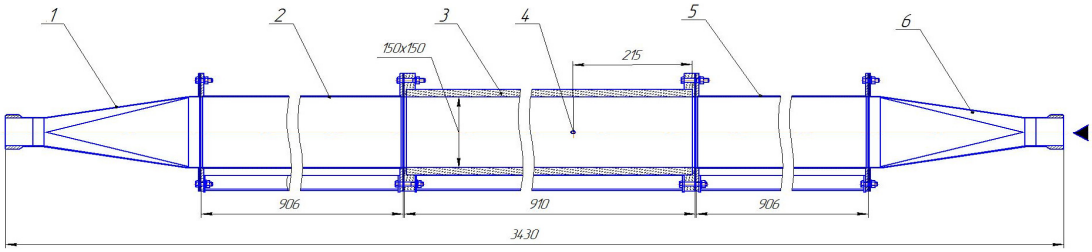


Рисунок 3 – Рабочий участок РУ1

1, 6 – конусные переходы; 2, 5 – успокоительные участки; 3 – канал измерения; 4 – тело обтекания

Канал измерения квадратного сечения размером 150 мм × 150 мм выполнен из пластин оргстекла толщиной 16 мм и длиной 910 мм. Поверхность оргстекла обеспечивает прозрачность наблюдения за потоком жидкости в канале. Успокоительные участки длиной 906 мм служат для стабилизации потока после конусных переходов. Конусные переходы обеспечивают плавный переход от трубопровода Ду50 циркуляционного контура стенда к квадратному сечению канала 150 мм×150 мм. Тело обтекания предназначено для образования вихрей в потоке жидкости и представляет собой стальной цилиндр толщиной 1 мм и внешним диаметром 10 мм, установленный между стенками по оси измерительного участка.

Бесконтактные измерения скорости потока воды выполнялись с помощью лазерной доплеровской измерительной системы «ЛАД-05С», изготовленной ОАО «Институт оптико-электронных информационных технологий», г. Новосибирск.

В состав «ЛАД-05С» входят: оптоэлектронный модуль, координатно-перемещающее устройство и компьютер с установленным программным обеспечением (АРМ-оператора «ЛАД-05С»).

Основные технические данные «ЛАД-05С»:

- диапазон измеряемых скоростей – $5 \cdot 10^{-2} \ldots 80$ м/с;
- погрешность измеряемой скорости – ±1,0 %;
- фокусное расстояние выходного объектива – 0,5 м;
- рабочий ход по координатам X, Y, Z координатно-перемещающего устройства (далее КПУ) – 250 мм;
- минимальный шаг позиционирования – 0,2 мм.

Также исследования данного цикла проводились при помощи системы визуализации полей скорости и температуры «ПОЛИС 3-С-200-4-ПЛИФ-СБ» (в дальнейшем «ПОЛИС 3-С»), разработанной в ООО «Сигма-Про», г. Новосибирск.

Данная система позволяет проводить измерения в следующих режимах работы:

- режим PIV (Particle Image Velocimetry): регистрация двухкомпонентного поля скорости в сечении потока жидкости;
- режим Stereo PIV (Stereoscopic Particle Image Velocimetry): регистрация трёхкомпонентного поля скорости в сечении потока жидкости;
- режим PLIF (Planar Laser Induced Fluorescence): регистрация поля температуры или поля концентрации маркера (красителя) в сечении потока жидкости;
- режим PIV/PLIF: одновременная регистрация поля температуры (или поля концентрации) и поля скорости в сечении потока жидкости.

Основные технические данные системы «ПОЛИС 3-С» в режиме PIV:

- исследуемая среда – жидкость (вода), воздух;
- результат – мгновенные поля двух компонент векторов скорости (PIV) в выбранном сечении потока газа или жидкости;
- диапазон определения скорости 0 до 100 м/с (вода), от 0 до 1500 м/с (воздух);
- максимальная частота получения полей – 15 Гц;

– погрешность определения компонент скорости – ≤3 %;
– размер измерительной области – до 500×500 мм (вода), 300×300 мм (воздух);
– диапазон регистрируемых температур от +10 до +160 °С.

В состав «ПОЛИС 3-С» входят: две фотокамеры системы регистрации излучения Imperx CL, объектив Nikor 24-85, координатное устройство угла поворота для крепления и юстировки камер с коррекцией Шаймпфлюга, лазер Vlite 200, объектив для создания лазерного «ножа», оптическая система зеркал для доставки лазерного излучения, блок синхронизации работы видеокамер и лазера, сервер АРМ-оператора «ПОЛИС 3-С».

В воду для улучшения визуализации были добавлены полиамидные частицы средним диаметром 20 мкм из расчёта 0,15 г на 1 л воды.

Методика проведения измерений при помощи «ПОЛИС 3-С» заключалась в следующем. Первоначально проводилась установка необходимого расхода воды в циркуляционном контуре стенда с помощью частотного регулятора насоса. После этого включалась система «ПОЛИС 3-С» в соответствии с её руководством по эксплуатации, в программном обеспечении системы проводилась настройка параметров измерений для получения сфокусированного изображения области измерения в канале рабочего участка, затем устанавливался параметр, отвечающий за мощность лазера. Далее задавались параметры фотосъёмки и продолжительность лазерных импульсов в зависимости от скорости течения потока жидкости в канале измерения рабочего участка.

После настройки параметров проведения измерений производилась фотосъёмка в заданной области измерения с использованием фотокамеры Imperx CL и регистрация опытных данных на сервере АРМ-оператора. Дальнейшая обработка результатов измерений и построение полей векторов скоростей выполнялась с помощью установленного на сервере АРМ-оператора программного обеспечения «ActualFlow» Версия 1.18, разработанного ООО «Сигма-Про», г. Новосибирск, и программы «Excel».

В результате измерений при помощи «ПОЛИС 3-С» была выполнена визуализация потока жидкости в квадратном канале и были получены векторные двумерные поля скорости до тела обтекания при турбулентном и ламинарном режимах течения, а также проведена визуализация вихревого потока жидкости после тела обтекания при турбулентном и ламинарном режимах течения.

На *рисунке 4*, в качестве примера, представлено полученное усредненное по 600 изображениям за время 60 с векторное отображение поля скорости до тела обтекания в центральном сечении канала.

На *рисунке 5* представлено распределение относительной скорости потока на расстоянии 0,145 м до тела обтекания по высоте канала как в центральной плоскости, так и в сечениях, расположенных на различных расстояниях от центральной оси канала.

На *рисунке 6* изображены линии тока и векторы усредненного за 15 секунд поля скорости, рассчитанного по k-w SST модели турбулентности.

Как видно из *рисунка 5* и *6,* в сечении рабочего участка течение имеет нестабилизированный характер, вызванный недостаточной длиной гидродинамического начального участка.

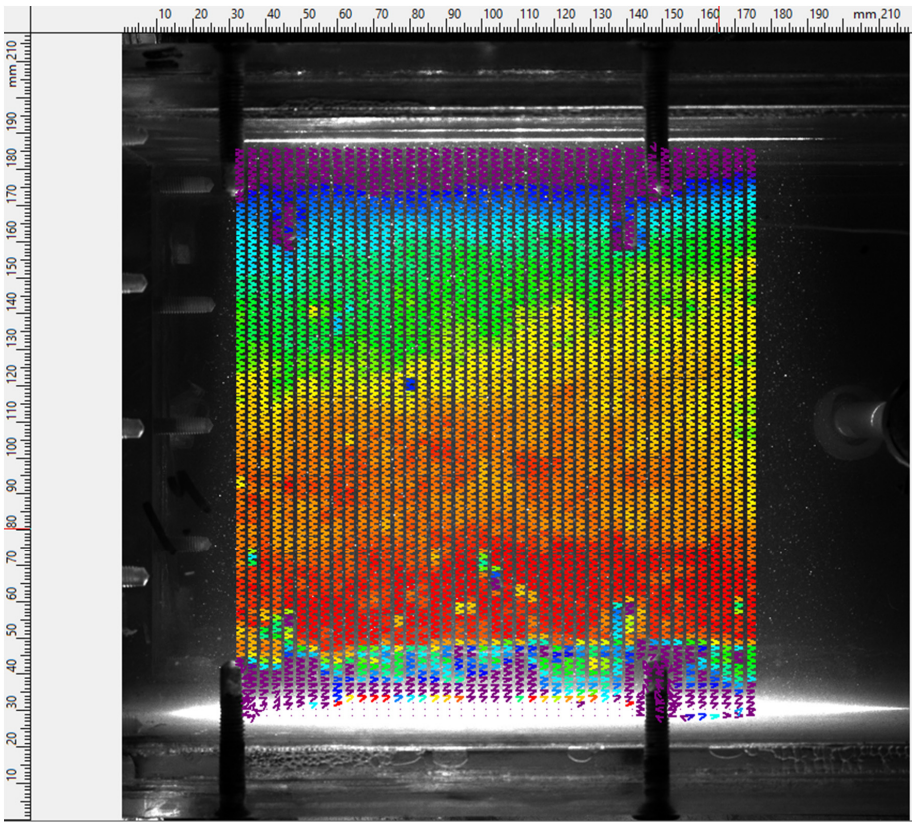


Рисунок 4 – Усредненное векторное отображение поля скорости в продольном сечении канала

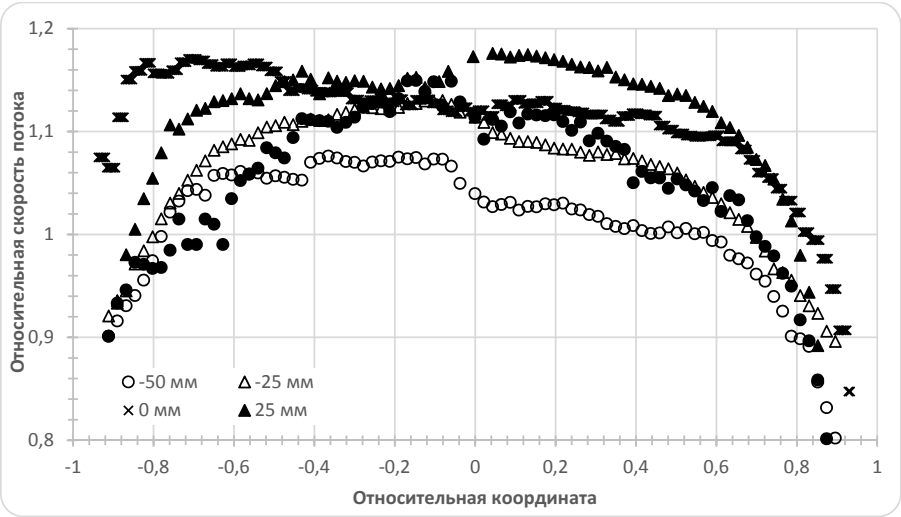


Рисунок 5 – Распределение относительной скорости потока по высоте канала на различных расстояниях от центральной оси (–50; –25; 0; 25; 50 мм) при значении Re = 30120

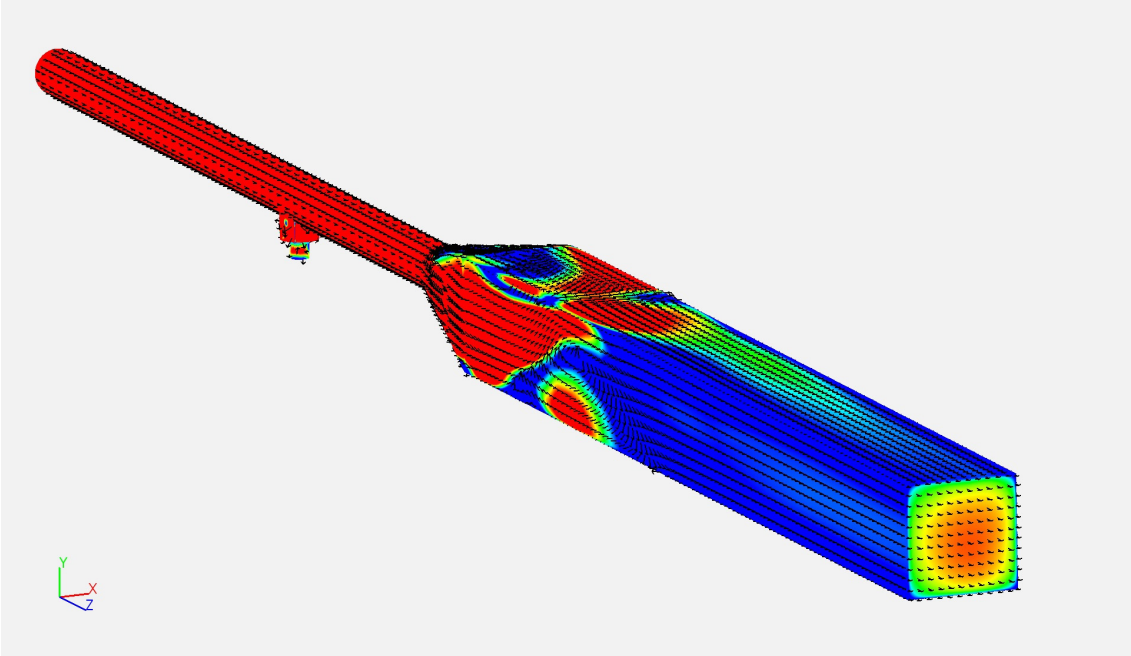


Рисунок 6 – Усредненное поле течения (по статистической выборке 15 секунд) в диффузоре

На *рисунке 7* представлен график профилей относительной скорости по высоте канала на различных расстояниях от центральной оси при значении Re =1750. На *рисунке 8* показано это же распределение скорости в трёхмерном представлении.

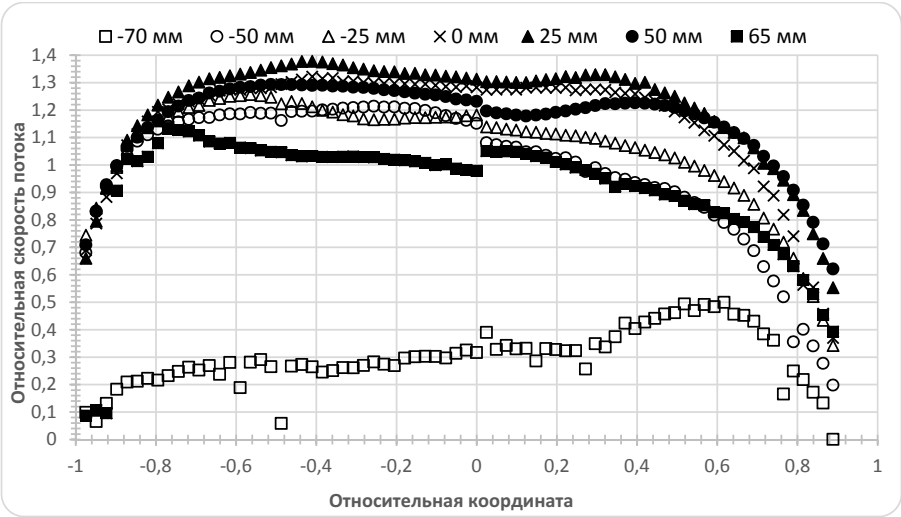


Рисунок 7 – Относительный график профилей скорости по высоте канала на различных расстояниях от центральной оси (–70; –50; –25; 0; 25; 50 и 65 мм) при значении Re = 1750

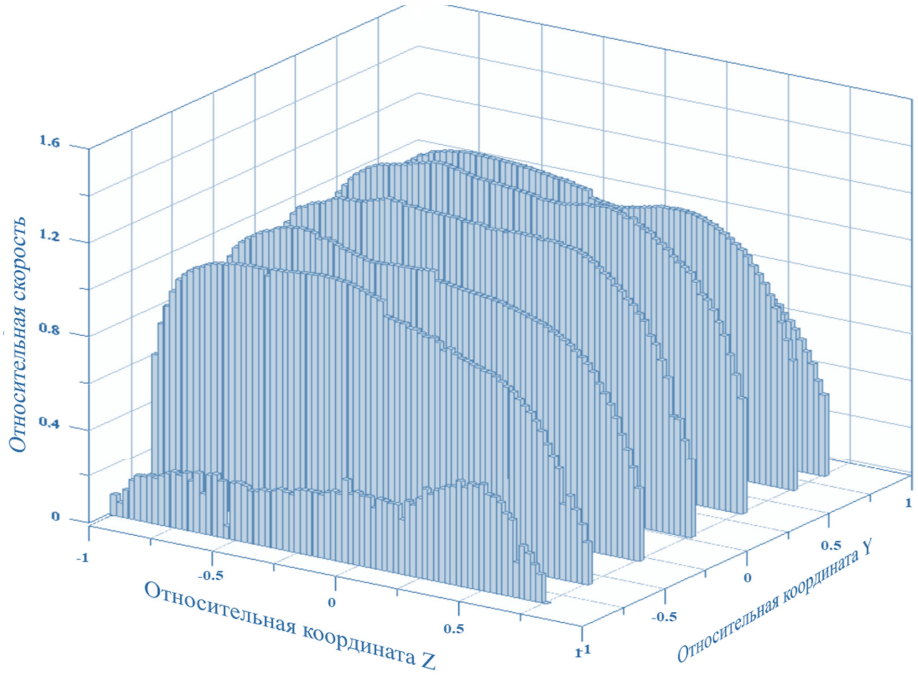


Рисунок 8 – Сравнительный 3d график профилей скорости по высоте канала на различных расстояниях от центральной оси (–70; –50; –25; 0; 25; 50 и 65 мм) при значении Re =1750

На *рисунке 9* приведён пример визуализации вихревого потока жидкости после тела обтекания при ламинарном режиме течения.

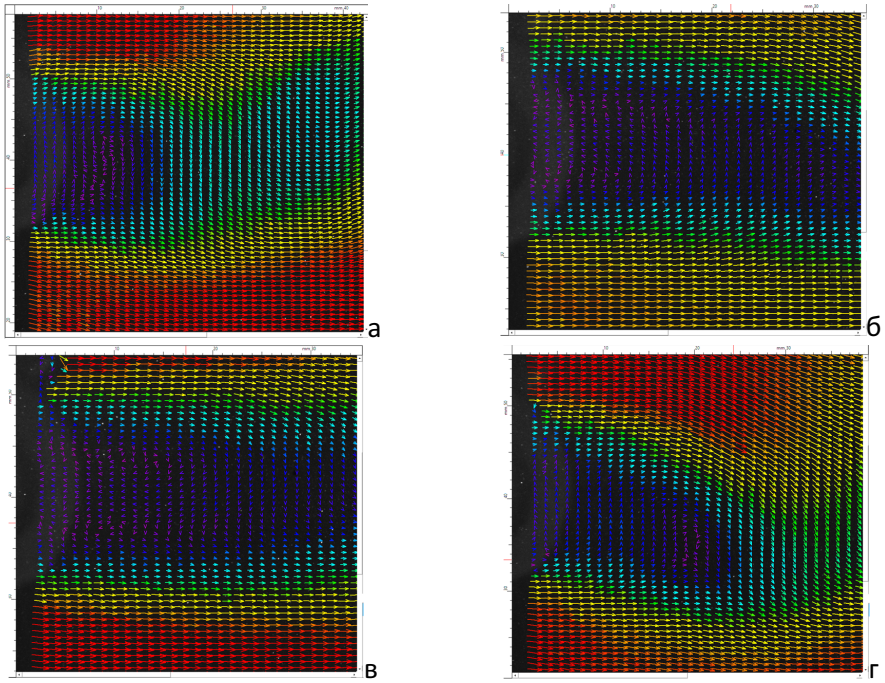


Рисунок 9 (а – г) – векторное отображение процесса вихреобразования за телом обтекания в ламинарном режиме (Re = 1280, $Re_{тела\ обтекания}$ = 65), где: а) 1с, б) 7с, в) 13с, г) 21с с момента начала эксперимента

Методика проведения измерений при помощи «ЛАД-05С» заключалась в следующем. После установки необходимого расхода воды в циркуляционном контуре стенда включалась измерительная система «ЛАД-05С», визуально по пересечению лазерных лучей производилось позиционирование начальной точки измерений. В зависимости от поставленных условий и задач в программном обеспечении «ЛАД-05С» задавались следующие параметры измерений: координаты области измерений и шаг перемещения КПУ, время сбора статистики в точке измерения (в секундах), количество «вспышек» (зарегистрированных сигналов от частицы в измеряемом объёме) суммарно по обеим компонентам скорости в точке. Зарегистрированные сигналы от частиц в измеряемом объёме автоматически сохраняются в базе данных эксперимента. Далее полученная база конвертируется в файл формата «Excel», после чего производится окончательная обработка полученных данных.

При помощи «ЛАД-05С» были проведены измерения продольных профилей скорости жидкости в поперечных сечениях квадратной трубы на расстоянии 0,145 м до тела обтекания при турбулентном и ламинарном режимах течения.

Расположение области измерения в поперечном сечении канала представлено на *рисунке 10*. Точки измерения располагались на вертикальной прямой, расположенной по оси Z квадратной трубы с отступами 10 мм от нижней и верхней его поверхности (область измерения от 10 мм до 140 мм) на расстоянии 145 мм до тела обтекания. Измерения профиля скорости потока по высоте канала проводились на различных расстояниях Y от оси канала. Шаг перемещения КПУ – 5 мм (27 точек измерений). Время набора статистических данных составило от 20 до 30 с, количество «вспышек» на одну точку измерения составило около 10000 шт.

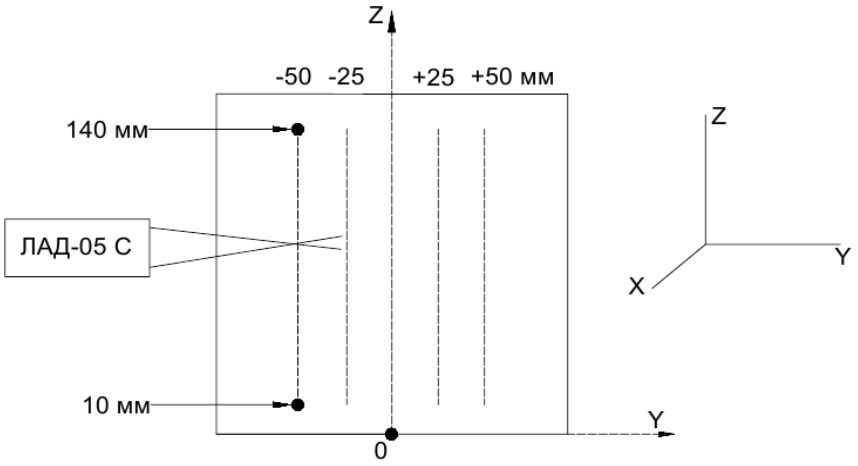


Рисунок 10 – Расположение области измерения в поперечном сечении канала

На *рисунках 11, 12* представлены результаты измерений.

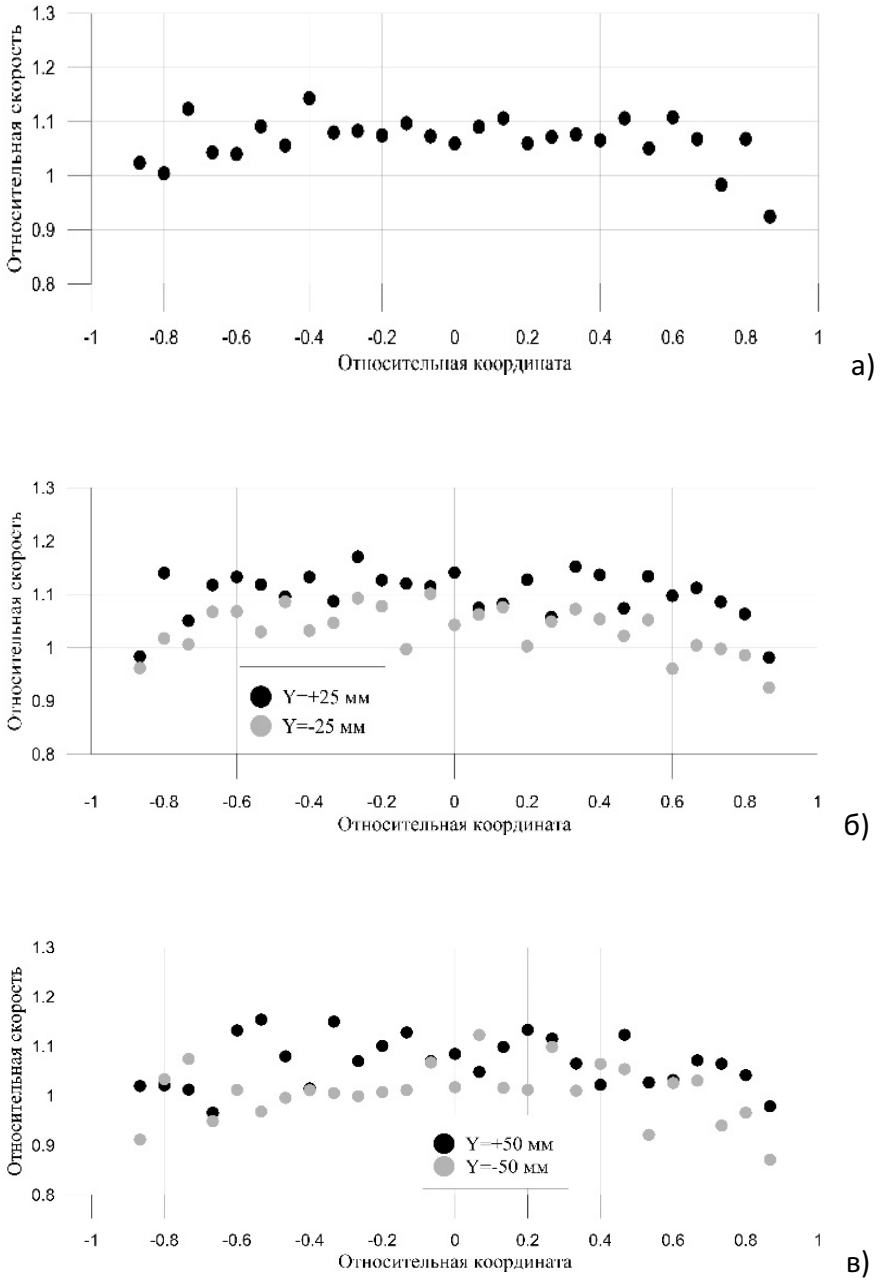
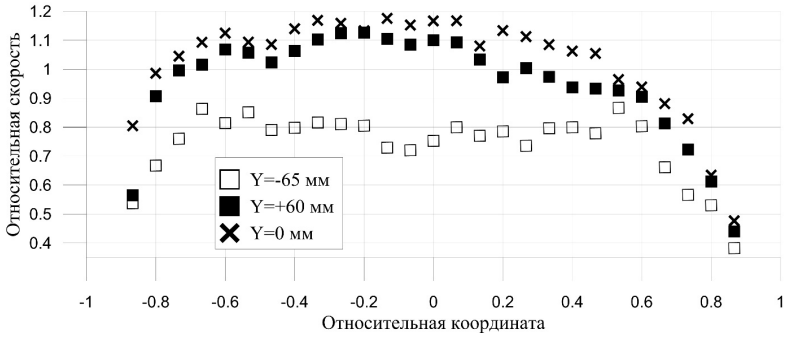
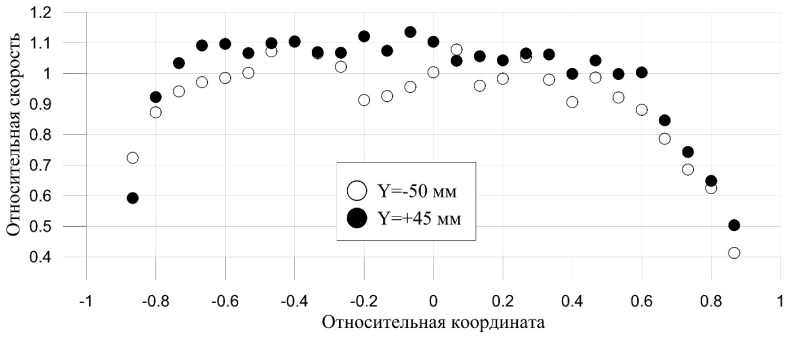


Рисунок 11 – Распределение скорости жидкости по высоте канала при турбулентном режиме течения на различных расстояниях от центральной оси:

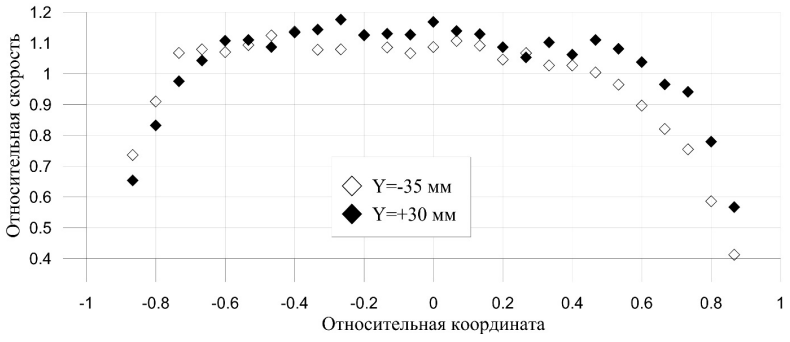
а) 0 мм; б) +25 и –25 мм; в) +50 и –50 мм)



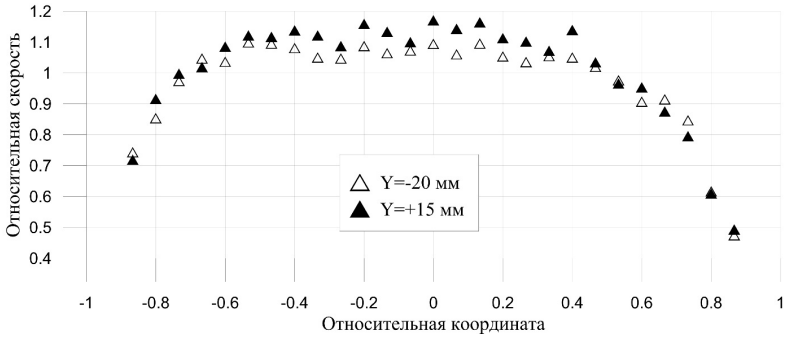
а)



б)



в)



г)

Рисунок 12 – Распределение скорости жидкости по высоте канала при ламинарном режиме течения на различных расстояниях от центральной оси: а) 0, +60 и –65 мм; б) +45 и –50 мм) в) +30 и –35 мм г) +15 и –20 мм

Сравнения измерений «ПОЛИС 3-С» и «ЛАД-05С» представлены в ламинарном режиме течения (*рисунок 13*).

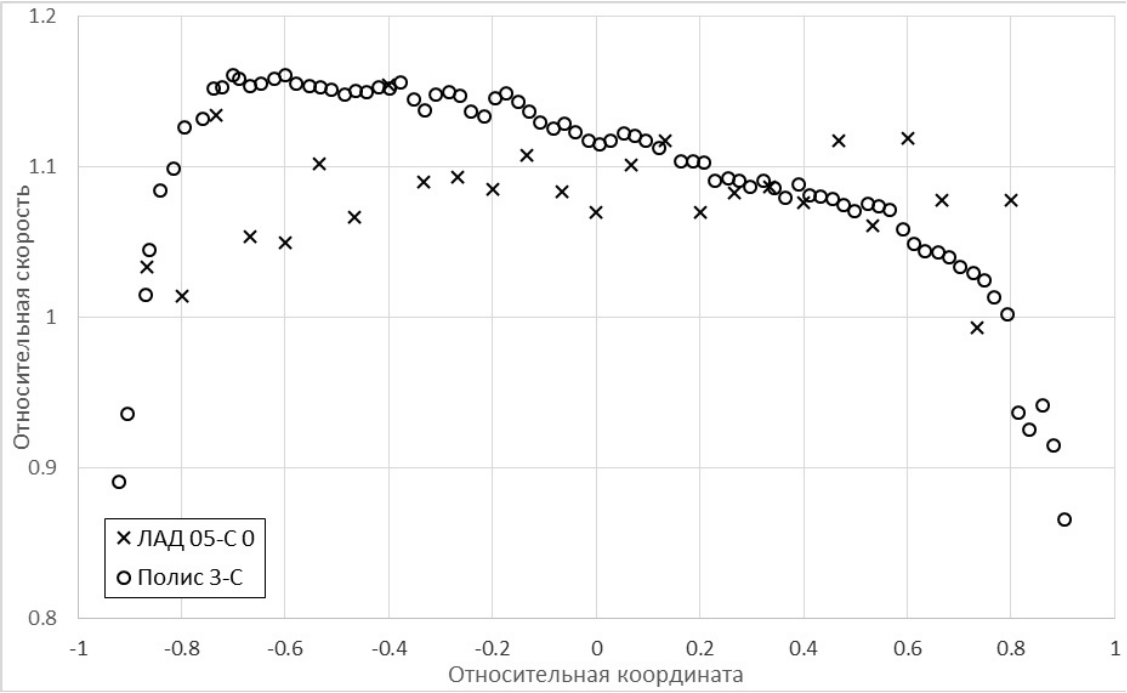


Рисунок 13 – Сравнение профилей скорости по высоте канала, полученных с помощью систем «ПОЛИС 3-С» и «ЛАД-05С

Заключение

В институте на базе стенда КМС в зд. 962 создан стенд «3D», предназначенный для исследования 3-х мерных задач гидродинамики и валидации трёхмерного CFD-модуля РК КОРСАР. На стенде «3D» выполнены исследования пространственных течений с использованием современных бесконтактных оптических средств измерения «ПОЛИС 3-С» и «ЛАД-05С». Исследования проведены в квадратном прозрачном канале (модель «Вихревая дорожка Кармана») шириной 150 мм в турбулентной и ламинарной областях течения.

Получены опытные данные по пространственному распределению скорости жидкости до и после тела обтекания.

Получены векторные двумерные поля скорости в поперечном сечении канала, качественно отображающие реально происходящее образование отрывных вихрей после тела обтекания.

С учётом неустановившегося характера течения в канале, вызванного недостаточной длиной гидродинамического начального участка в исследуемом рабочем участке, получено удовлетворительное согласование опытных данных, полученных при помощи различных систем измерения «ПОЛИС 3-С» и «ЛАД-05С».

4.6 Модификация и развитие расчётного кода КОРСАР/CFD

Ю.В. Юдов, Д.С. Кастерин, С.С. Чепилко, И.Г. Данилов, А.В. Владимиров, А.Н. Кузнецов, Т.Б. Маликов

Актуальность работы

Модуль трёхмерной вычислительной гидродинамики (CFD – Computational Fluid Dynamics) в составе теплогидравлического расчётного кода КОРСАР разрабатывается в отделе теплофизических исследований НИТИ им. А. П. Александрова с 2012 года. CFD-модуль основан на балансном методе вложенной границы в идеологии декартовых обрезанных ячеек, имеет собственный сеточный генератор и программу декомпозиции области моделирования в обеспечение параллельных вычислений на современных многопроцессорных вычислительных комплексах [1]. CFD-модуль включен как типовой элемент в состав расчётного кода КОРСАР/CFD, при этом объединение одномерной и трёхмерной моделей теплогидравлики выполнено по полунеявной схеме с применением геометрического многосеточного метода для нахождения объединенного поля давления [2, 3].

Актуальным направлением применения нового расчётного кода является численное исследование процессов перемешивания теплоносителя в камерах реактора при несимметричных режимах работы петель теплообмена реакторной установки (РУ) в обеспечение обоснования безопасности водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР). При этом требуется сопряженное моделирование нейтронно-физических (НФ) и теплогидравлических (ТГ) процессов в активной зоне (а.з.) реактора. В коде КОРСАР/CFD для этого применяется программный блок КАРТА, выполняющий расчёт нейтронной кинетики а.з. в трёхмерном пространственном приближении. Сопряжение НФ и ТГ моделей в РК КОРСАР/CFD потребовало существенной доработки системной части кода, что в итоге позволило осуществлять расчёты некоторых аварийных режимов работы РУ ВВЭР-1000 [4, 5], а также расчёты перемешивания теплоносителя в интегральном стенде модели ВВЭР [6-8].

Другим направлением развития РК КОРСАР/CFD явилось наполнение кода новыми сервисными и пользовательскими возможностями по анализу результатов трёхмерного CFD-расчёта в режиме постобработки, что является крайне востребованным для любого современного CFD-пакета. Реализованы возможности циклической интервальной записи файлов с пространственными распределениями теплогидравлических полей (т. н. USR-файлов стандартного формата), записи в файл временных реализаций теплогидравлических полей в определяемых пользователем точках мониторинга, интервальной записи в файл усредненных по отдельным (заранее выделенным пользователем при помощи STL-файлов) участкам границы потоков (массы, импульса, энергии, тепла), а также интервальной записи в USR-файл поверхностных распределений силы трения, локального теплового потока, сеточного числа y+.

Крайне важной задачей при верификации и валидации любого расчётного кода является участие разработчиков в проведении стандартных бенчмарков, поскольку появляется возможность сравнить результаты «слепого» численного моделирования с экспериментальными данными и результатами других участников. С этой целью специалисты отдела

приняли участие в первом российском бенчмарке по верификации CFD-программ на базе гидродинамической лаборатории АО «ОКБМ Африкантов» по исследованию конвекции Рэлея-Бенара в замкнутой полости при высоких числах Рэлея. Расчёты производились неявным методом моделирования крупных вихрей (ILES - Implicit Large Eddy Simulation), для чего в CFD-модуле были реализованы модель плавучести в приближении Буссинеска и процедура статистического усреднения гидродинамических полей. В результате слепых расчётов получено хорошее качественное и удовлетворительное количественное совпадение по всем экспериментально измеренным параметрам [9].

Несмотря на большое разнообразие прикладных графических пакетов для пост-обработки результатов трёхмерных расчётов, каждый из них обладает относительно ограниченным функционалом в плане одновременного отображения результатов 3D и 1D расчётов. Поэтому в НИТИ им. А. П. Александрова было принято решение о разработке собственного графического интерфейса пользователя для РК КОРСАР/CFD, который будет выступать единой графической средой с возможностями одновременного отображения результатов связанного 1D и 3D расчёта. Актуальность данной задачи очень высока, поскольку совместный анализ контурной теплогидравлики и пространственных полей энерговыделения в активной зоне при сопряженных нейтронно-физических и теплогидравлических расчётах (НФ/ТГ) реакторных установок типа ВВЭР становится гораздо удобней для пользователя, если он осуществляется в единой среде, обеспечивающей многооконный доступ к различным графическим средствам (по отображению временных зависимостей, отображению трёхмерных полей, отображению полей на графической схеме) из одного приложения. Те же преимущества для пользователя имеет и возможность анализа из одного приложения данных совместного расчёта одномерной контурной теплогидравлики и трёхмерных моделей элементов реакторной установки, выполненных в CFD-модуле кода КОРСАР/CFD.

Основные результаты модификации кода

В рамках развития и модификации РК КОРСАР/CFD были решены следующие задачи:

1. Объединение с блоком программ расчёта нейтронной кинетики КАРТА.

Моделирование сопряжённых нейтронно-физических (НФ) и теплогидравлических (ТГ) процессов в коде КОРСАР осуществляется с использованием программного блока КАРТА, выполняющим расчёт нейтронной кинетики активной зоны в трёхмерном пространственном приближении. В сопряжённом расчёте связь НФ и ТГ моделей осуществляется следующим образом:

- нейтронно-физические свойства среды в элементах а.з. в блоке КАРТА рассчитываются в зависимости от теплофизических параметров материалов (от так называемых параметров обратной связи), часть из которых передается из теплогидравлического расчёта (например, температура и плотность теплоносителя, концентрация бора);
- теплогидравлическая модель воспринимает рассчитываемое блоком нейтронной кинетики пространственное распределение энерговыделения в активной зоне.

При составлении нодализационной схемы сопряжение моделей кодируется связью элементов «канал» и «теплопроводящая конструкция» с элементом «пространственная нейтронная кинетика». При запуске задачи в параллельном режиме CFD модуль работает на

нескольких процессах, а теплогидравлика и нейтронная кинетика – на одном (главном).

2. Добавление новых сервисных и пользовательских инструментов для постобработки результатов CFD-расчётов:
   - циклическая запись USR-файлов результатов трёхмерного расчёта через задаваемый пользователем интервал времени;
   - запись в USR-файлы поверхностных распределений силы трения, локального теплового потока, сеточного числа y+;
   - циклическое усреднение по STL-поверхностям различных величин: потоков массы, импульса, энергии по открытым границам; температуры, теплового потока, силы трения, силы давления, сеточного числа y+ по твердым стенкам;
   - задаваемые пользователем точки мониторинга, в которых осуществляется запись в файл временн**ы**х реализаций гидродинамических полей.
3. Добавление новых расчётных моделей:
   - реализована модель плавучести в приближении Буссинеска;
   - реализовано статистическое усреднение гидродинамических полей, обеспечивающее возможность моделирования турбулентных потоков неявным методом крупных вихрей (ILES) или методом URANS (Unsteady Reynolds Averaged Navier-Stokes).
4. Отладка существующих алгоритмов и моделей кода:
   - обеспечена положительная определенность характеристик турбулентности при использовании дифференциальных моделей турбулентности в задачах со сложной геометрией;
   - реализован дифференциальный алгоритм поиска расстояния до стенки для *k-ω* SST модели турбулентности;
   - расширен слой пассивных ячеек в подобластях при декомпозиции области моделирования для возможности использования высокоточных интерполяционных шаблонов;
   - реализован учёт зависимости плотности теплоносителя от давления и температуры (энтальпии) в 3D области при расчёте в параллельном режиме (ранее такая возможность была доступна лишь в последовательном режиме);
   - реализована возможность использования элементов контурной теплогидравлики «заданная граничная ячейка» и «заданный источник массы» для постановки граничных условий для параллельного расчёта 3D области.

Работы по созданию графического интерфейса пользователя

ГИС КОРСАР (**Г**рафическая **И**нформационная **С**истема **КОРСАР**) представляет собой единую оболочку, обеспечивающую выполнение полного цикла моделирования задачи в РК КОРСАР/CFD, включая:

- формирование графическим способом нодализационной схемы задачи;
- ввод конструктивных и начальных данных по элементам;
- набор в текстовом редакторе фрагментов файла входных данных на языке DLC

(глобальные переменные, процедуры SET и EVENT и их вызовы);

- автоматическую генерацию результирующего файла входных данных для кода;
- формирование графиков и цифровых табло для отображения результатов расчёта;
- вызов окон приложений, позволяющих отобразить результаты трёхмерных расчётов (по активной зоне и в элементе CFD);
- консолидацию всех входных и выходных файлов задачи РК КОРСАР/CFD в рамках единого проекта, позволяющую выполнять обработку информации без потери ее целостности (например, при транспортировке или редактировании задачи).

В настоящий момент завершается отладка ключевого функционала ГИС КОРСАР.

Сотрудниками ОНФИ были разработаны средства графической визуализации трёхмерных и двумерных полей (программы **CFDViewer** и **KorVis**). Программа **CFDViewer** обладает практически всем минимально необходимым функционалом для пост-обработки результатов CFD-расчётов:

- вращение и масштабирование пространственной сетки или STL-файлов;
- отображение скалярных и векторных полей;
- усреднение векторного поля;
- сечение плоскостью или группой плоскостей;
- построение линий тока;
- графики переменных вдоль заданной линии;
- выделение области для отображения произвольным многоугольником;
- пользовательское задание диапазона отображаемой величины.

Программа **CFDViewer** написана на языке C++ с использованием библиотеки QT 5.8 и библиотеки OpenGL, поддерживается различными ОС Windows и Linux и использует собственный специально разработанный формат представления сеток, поддерживаемый сеточным генератором CFD-модуля РК КОРСАР/CFD, а в качестве файлов результатов расчёта – USR-формат.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались:

1) на научно-техническом семинаре «Проблемы верификации и применения CFD кодов в атомной энергетике» (г. Нижний Новгород, 13–14 сентября 2016);
2) на 10-ой международной научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР» (г. Подольск, 16–19 мая 2017);
3) на 13-ой МНПК АЭ «Безопасность. Эффективность. Ресурс» (г. Севастополь, 3–6 октября 2017);
4) на межотраслевом научно-техническом семинаре «Моделирование динамики ЯЭУ (разработка программных средств, верификация, оценка точности расчёта)» (г. Сосновый Бор, 5–7 июня 2018);
5) на научно-технической конференции «Проблемы применения и верификации CFD кодов в атомной энергетике» (г. Нижний Новгород, 9–10 октября 2018).

Подготовлены две статьи для научно-технического сборника «ВАНТ», серия «Математическое моделирование физических процессов», для выпуска 4 за 2018 год (опубликована) и для выпуска 1 за 2019 год (готовится к печати).

Литература

1. Юдов Ю. В. Численная реализация трёхмерной модели теплогидравлики на основе метода вложенной границы в расчётном коде «КОРСАР/CFD» / Ю. В. Юдов, С. С. Чепилко, И. Г. Данилов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Математическое моделирование физических процессов. – 2018. – Выпуск 4. – С. 46-56.
2. Юдов Ю. В Адаптация CFD модуля в составе системного теплогидравлического кода КОРСАР / Ю. В. Юдов, И. Г. Данилов, С. С. Чепилко // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок. – Сосновый Бор, НИТИ, 2015. – № 2 (2). – С. 15-28.
3. Объединение одномерной и трёхмерной моделей теплогидравлики в расчётном коде «КОРСАР/CFD»/ Ю. В. Юдов, И. Г. Данилов, С. С. Чепилко, Д.С. Кастерин //Вопросы атомной науки и техники. Серия: Математическое моделирование физических процессов. – 2019. – Выпуск 1. – С. 57-68.
4. Моделирование пространственных нейтронно-физических и теплогидравлических процессов с помощью расчётного кода КОРСАР/CFD / Ю.В. Юдов, Д.С. Кастерин, И.Г. Данилов, С.С. Чепилко // Сборник тезисов докладов Межотраслевого научно-технического семинара «Моделирование динамики ЯЭУ (разработка программных средств, верификация, оценка точности расчёта)», Сосновый Бор, 5–7 июня 2018. – С. 37.
5. Моделирование режимов РУ ВВЭР-1000 при несимметричной работе петель с помощью расчётного кода КОРСАР/CFD / Ю.В. Юдов, И.Г. Петкевич, В.Г. Артемов, Д.С. Кастерин, С.Н. Румянцев // Сборник тезисов докладов 11-ой МНТК «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», ОКБ «Гидропресс», Подольск, 21–24 мая 2019.
6. Разработка и верификация CFD модуля в составе расчётного кода КОРСАР / Ю.В. Юдов, Д.С. Кастерин, И.Г. Данилов, С.Н. Румянцев, С.С. Чепилко // Сборник тезисов докладов научно-технического семинара «Проблемы верификации и применения CFD кодов в атомной энергетике», Нижний Новгород, 13–14 сентября 2016.
7. Верификация расчётного кода КОРСАР/CFD по экспериментальным данным с перемешиванием бора на модели реактора ВВЭР-1000 / Ю.В. Юдов, Д.С. Кастерин, С.Н. Румянцев, С.С. Чепилко // Сборник тезисов докладов 10-ой МНТК «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», ОКБ «Гидропресс», Подольск, 16-19 мая 2017. – С. 105.
8. Расчётный анализ эксперимента с перемешиванием пробки деборированной воды на модели реактора ВВЭР-1000 по системному коду КОРСАР/CFD / Ю.В. Юдов, Д.С. Кастерин, С.Н. Румянцев, С.С. Чепилко // Сборник тезисов докладов 13-ой МНПК АЭ «Безопасность. Эффективность. Ресурс», Севастополь, 3–6 октября 2017. – С. 106-108.
9. Чепилко С. С. Моделирование конвекции Рэлея-Бенара методом ILES по расчётному коду КОРСАР/CFD / С. С. Чепилко, Д.С. Кастерин // Сборник докладов научно-технической конференции «Проблемы применения и верификации CFD кодов в атомной энергетике», Нижний Новгород, 9–10 октября 2018. – С. 29-44.

5. ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И РАДИОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

5.1 Основные результаты исследований по стендовой тематике

5.2 Разработка радиохимических технологий

5.3 Радиоэкологическая обстановка в зоне воздействия ядерных энергетических установок института

5. ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И РАДИОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

5.1 Основные результаты исследований по стендовой тематике

А.А. Ефимов, А.А. Змитродан, Е.Е. Щербаков

В 2018 году силами сотрудников отдела химико-технологических исследований (ОХТИ) выполнены мероприятия по подготовке и проведению очередных циклов испытаний ЯЭУ стенда-прототипа КВ-1. В рамках указанных мероприятий осуществлялась на постоянной основе оценка текущего состояния активной зоны стенда по результатам радиационно-технологического контроля в соответствии с требованиями нормативной документации «РТК-04» [1]. В отчётный период на стенде были проведены два режима радиационно-технологического контроля, анализ результатов которых позволил заключить, что активная зона стенда ЯЭУ на момент проведения заключительного в 2018 году радиационно-технологического контроля находилась в «нормальном» состоянии [2] согласно классификации «РТК-04».

Контроль герметичности оболочек твэлов осуществлялся на основании данных об удельной активности радионуклидов йода и цезия в пробах теплоносителя первого контура. В результате расчёта получено среднее значение эффективной массы открытого урана-235 в зоне облучения первого контура на уровне (0,13 ± 0,02) г, что в пределах погрешности согласуется с предыдущими циклами испытаний активной зоны стенда. Признаков разгерметизации оболочек тепловыделяющих элементов не обнаружено.

Коэффициент очистки теплоносителя на фильтрах очистки БОиР-1 и БОиР-2 составил:

- по радионуклидами йода порядка 100;
- по ^{138}Cs – порядка 20;
- по долгоживущему ^{137}Cs – единица.

В целом, система очистки теплоносителя первого контура работала удовлетворительно [2].

В течение 2018 года в полном объёме выполнены организационно-технические мероприятия по обеспечению ядерной безопасности стенда КВ-1.

В целом, результаты физико-химического анализа технологических сред стендов (газосодержание продуктов радиолиза водных теплоносителей, ионные примеси, радионуклидный состав продуктов деления и активированных продуктов коррозии) не превышали значений нормируемых показателей.

На стенде КВ-1 при проведении очередных циклов испытаний в кампании отмечена тенденция к увеличению поступления соединений марганца в теплоноситель первого контура при работе ЯЭУ в режиме естественной циркуляции. Выявлен также рост равновесной концентрации бора с 0,1 мг/л до 0,9 мг/л, что свидетельствует о наличии постоянного источника поступления бора в первом контуре ЯЭУ стенда.

В ближайшее время выдвинутые гипотезы объяснения отмеченных эффектов получат подтверждение в процессе проведения дефектации.

В рамках реализации Программы коррозионного мониторинга на стенде КВ-1 в 2018 году получены уникальные данные.

Исследования газового режима третьего контура ЯЭУ стенда, в котором в результате радиационно-химических реакций под действием реакторного облучения генерируется водород, который выделяется в газовую фазу расширительного бака компенсации уровня теплоносителя третьего контура при изменениях температуры [3], свидетельствуют о необходимости специального наблюдения и отслеживания изменения концентрации газообразного водорода в газовой фазе расширительного бака. В процессе испытаний ЯЭУ стенда несколько раз наблюдались аварийно опасные ситуации, связанные с резким повышением концентрации водорода (более концентрации взрывоопасного уровня 4 % об.).

В текущей кампании были подтверждены ранее выявленные закономерности:

- при концентрации ионных примесей в теплоносителе третьего контура ниже 0,2 мг/л устанавливаются стационарные концентрации радиолитического водорода на уровне от 0,4 до 0,5 нмл/кг, в зависимости от мощности работы стенда. При этом концентрация водорода в газе расширительного бака при работе на уровнях мощности менее 80% Nном. не достигает взрывоопасных (4 % об.) и допустимых значений (3 % об.) на уровнях мощности менее 30 % Nном.;
- повышение концентрации ионных примесей в теплоносителе третьего контура, которые определяются в основном ионами меди и угольной кислоты, изменяет протекание радиационного разложения воды в сторону увеличения выхода молекулярного водорода, что приводит к образованию взрывоопасных концентраций в газовой фазе расширительного бака;
- повышение концентрации ионов угольной кислоты в воде обусловлено исчерпанием обменной ёмкости анионитной составляющей ионообменных фильтров по ионам угольной кислоты, которые накапливаются в ней при растворении диоксида углерода, содержащегося в газовой фазе расширительного бака, а также образующегося при окислении органических примесей при их термолизе и радиолизе;
- следствием взаимодействия угольной кислоты сначала с окислами меди, находящимися на поверхности медьсодержащих конструкционных материалов, является увеличение концентрации ионов меди в воде и быстрое исчерпание обменной ёмкости и катионитной составляющей ионообменных фильтров;
- после растворения карбонатов происходит взаимодействие кислорода с са-

мой медью с образованием окислов меди, вследствие чего происходит снижение концентрации кислорода в воде и газовой фазе расширительного бака.

Таким образом, было выявлено, что процессы газовыделения в воде третьего контура тесным образом связаны с состоянием системы ионообменной очистки теплоносителя. Ухудшение водно-химического режима по ненормируемым примесям (диоксид углерода), наблюдаемое по мере срабатывания ресурса шихты фильтра сб. 17, приводит к интенсификации процессов коррозии медных сплавов в составе конструкционных материалов третьего контура с образованием ионных форм меди, что, в свою очередь, интенсифицирует радиолитическое разложение воды с выделением водорода.

По результатам исследований газового режима третьего контура стенда сформулированы практические рекомендации для систем ЯЭУ, подобных третьему контуру стенда КВ-1.

С целью повышения качества выполнения аналитических работ при измерении химических показателей были выполнены следующие работы [3]:

- регулярно проводились процедуры оперативного контроля качества измерений нормируемых показателей в соответствии с Графиком оперативного контроля аналитических подразделений ОХТИ;
- с помощью внешних контрольных образцов контролировались измерительные процедуры, выполняемые при определении содержания железа, общего содержания примесей, содержания нефтепродуктов в теплоносителе;
- выполнен анализ контрольных карт Шухарта для методик МИ № 05-03-568М (содержание железа), МВИ № 05-08-725М (содержание железа и меди), МИ № 05-03-566М (измерение показателя pH), МИ 05-03-567М (измерение электропроводимости);
- на постоянной основе проводился ежеквартальный анализ результатов оперативного контроля качества измерений химических показателей технологических сред ЯЭУ и ЖРО.

Литература

1. Руководство по радиационно-технологическому контролю на кораблях с ядерными энергетическими установками (РТК-04), 2004. – 67 с.
2. Оценка текущего состояния АЗ стенда КВ-1 по результатам радиационно-технологического контроля / А.А. Змитродан, В.Н. Епимахов, Р.В. Фоменков, С.Н. Орлов, С.Г. Мысик // Техническая справка. НИТИ им. А.П. Александрова, уч. № 05-18-939ТС, утв. 28.11.2018.
3. Исследования газового режима III контура и газового состава внутренних поверхностей исполнительных механизмов АЗ стенда КВ-1 в кампании / А.И. Горшков, Е.Е. Щербаков, М.Ю. Кирюшкин, А.А. Амосов, О.В. Прохоркина, А.Н. Мельниченко, Д.А. Дронов, К.Е. Соловьев // Отчёт о НИР. НИТИ им. А.П. Александрова, инв. № 1219/о, 2018. – 43 с.
4. Воронина Н.В. Оперативный контроль качества результатов измерений химических показателей ВХГР систем стенда КВ-1 // Техническая справка. НИТИ им. А.П. Александрова, уч. № 05-18-1108ТС, 2018. – 19 с.

5.2 Разработка радиохимических технологий

В.Н. Епимахов, С.Г. Мысик, С.В. Прохоркин, Н.И. Алешина, В.А. Прокопенко, Г.А. Смирнова, В.С. Ткаченко, Д.С. Подшибякин

Сотрудниками лаборатории радиохимических технологий ОХТИ в 2018 году проводились испытания различных лакокрасочных покрытий на дезактивируемость. Исследования дезактивируемости проводили с использованием радионуклидов, определяющих активность реальных технологических сред ЯЭУ: ^{137}Cs, ^{144}Ce (^{152}Eu), ^{239}Pu. Виды воздействий и технические требования к покрытиям по ГОСТ Р 51102-97 «Покрытия полимерные защитные дезактивируемые. Общие технические требования», представлены в *таблице 1*.

Таблица 1

Виды воздействий и определяемые показатели по ГОСТ Р 51102-97 к покрытиям

№ п.п. таблицы ГОСТ Р 51102-97	Наименования показателей
1.1	Коэффициент дезактивации: ^{137}Cs, ^{144}Ce, ^{239}Pu для исходного покрытия
	^{137}Cs, ^{144}Ce, ^{239}Pu после воздействия внешних факторов
1.2.	Стойкость к действию дезактивирующих рецептур при 55±5 °С, ч
1.2	Стойкость к действию дезактивирующих рецептур при 25±5 °С, ч
1.3	Радиационная стойкость при мощности поглощенной дозы излучения $1 \cdot 10^4$Гр/ч, МГр
2.1	Прочность при ударе, см
2.2	Эластичность при изгибе, мм
2.3	Адгезионная прочность, МПа
4.1	Стойкость к действию воды при 95±5 °С, ч
4.1	Стойкость к действию воды при 60±5 °С, ч
4.2	Стойкость к действию жидких агрессивных сред (10 % HNO_3+0,5 % H_2C2O_4) при температуре 55±5 °С, ч
4.2	Стойкость к действию жидких агрессивных сред (5 % NaOH+0,5 % KMO_4) при температуре 55±5 °С, ч

В качестве дезактивирующих растворов использовались:

1 % раствор препарата СФ-3К при температуре 20 °С

5 % NaOH + 0,1 % $KMnO_4$ (10 мин. при температуре 55 °С)

2 % HNO_3 + 0,2 % NaF+ 0,2 % H_2C2O_4 (10 мин при температуре 55 °С) [1].

В 2018 году испытаны:

– системы покрытия на основе материала лакокрасочного полиорганосилоксанового «Цертакор 511», серийно производимого на предприятии ООО НПО «Спектр» (г. Новочебоксарск), перекрытого финишным слоем прозрачного

кремнийорганического лака КО-921 (ГОСТ 16508-70);

- лакокрасочные покрытия на основе эмали ВИНИКОР ЭП-1155Д, производимой на предприятии ООО НПП «ВМП-Нева»;
- системы лакокрасочного покрытия: грунтовка НЕФТЬЭКОР, эмаль ВИНИКОР ЭП-1155Д, лак ВИНИКОР ЭП-1155, – производимых на предприятии ООО НПП «ВМП-Нева»;
- покрытия на основе композиции для устройства наливных полов марки Спецпласт 109 AS, производимой на предприятии АО «СПЕЦХИММОНТАЖ»;
- системы лакокрасочного покрытия грунтовочно-колеровочного слоя лакокрасочного материала Jotamastic 90 RAL 3013 и покрывного слоя лака Penguard Clear Seale, производимых ООО «Йотун Пэйнтс»;
- трёх систем покрытий Цертакор 511/1, Цертакор 511/2, Цертакор 511/3, производимых на предприятии ООО «НПП Спектр». Испытанные покрытия соответствовали требованиям ГОСТ Р 51102-97 «Покрытия полимерные защитные дезактивируемые. Общие технические требования».

Данные работы начаты несколько лет назад и уже выполнено свыше 20 договоров с рядом предприятий-производителей и потребителей лакокрасочных материалов. Среди наиболее известных предприятий ЗАО «БИОХИМ», ЦСГО ОАО «Концерн «НПО «Аврора»», ЗАО «СПЕЦХИММОНТАЖ», ЗАО «ЭКОПОЛ», ООО «НИПРОИНС», ООО «ДВ Колор», ООО «РСТК», АО «Морозовский химический завод», ООО НПО «СПЕЦКОМПОЗИТ», ООО «Йотун Пэйнтс», ООО «НПП «Спектр», ООО НПП «ВМП-Нева».

Актуальность проводимых работ определяется тем, что лакокрасочные материалы находят широкое применение в атомной промышленности, например, для устройства легко дезактивируемых наливных полов, покраски стен гермообъёма реакторных залов АЭС, реакторных отсеков АПЛ, корпусов кораблей и т.д. Так, материал ВИНИКОР ЭП-1155Д, производства ООО НПП «ВМП Нева», после проведённых в лаборатории радиохимических технологий ОХТИ дополнительных испытаний в условиях, имитирующих максимальную проектную аварию (МПА) с разрывом трубопровода в гермообъёме, был применен для антикоррозионной защиты внутренней поверхности гермооболочки на строящемся втором энергоблоке ВВЭР-1200 Ленинградской АЭС.

Материалы производителей ООО «Йотун Пэйнтс», ЗАО «ЭКОПОЛ», ООО НПП «ВМП-Нева» после проведенных исследований и получения заключения «НИТИ им. А.П. Александрова», успешно используются для антикоррозионной защиты вырезанных блоков реакторных отсеков АПЛ, установленных на площадках временного хранения СевРАО и ДальРАО.

Следующим вторым, важным и востребованным направлением работ лаборатории радиохимических технологий ОХТИ, является синтез, испытание и изготовление новых сорбентов для радиохимического анализа и радиохимических технологий.

По заказу АО «СПЕЦХИММОНТАЖ» проведены исследования сорбционных свойств природного минерала шунгита, модифицированного в плазмотронах Заказчика. Зависимости степеней сорбции ^{137}Cs при контакте ЖРО ТЯЭУ с шунгитом представлены на *рисунке 1*.

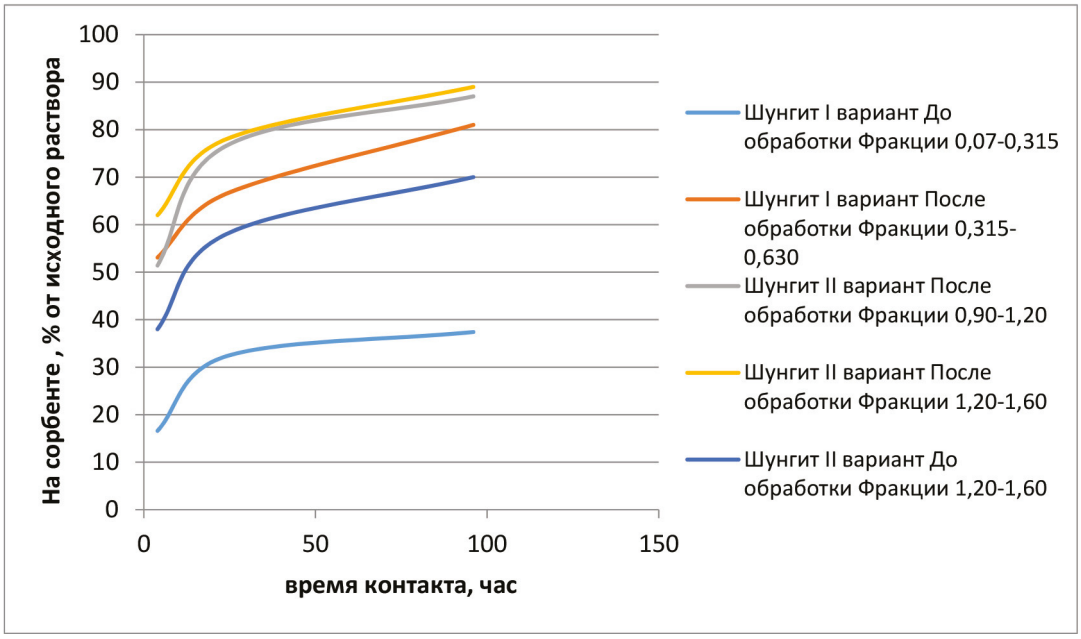


Рисунок 1 – Зависимости степеней сорбции ^{137}Cs при контакте ЖРО ТЯЭУ с шунгитом в статических условиях от времени контакта фаз (4, 24, 96 часов) при соотношении ЖРО/шунгит равном 10.

Результаты определения проскока ^{137}Cs в фильтрат при сорбции в динамических условиях приведены на *рисунке 2*.

Рисунок 2 – Выходная кривая сорбции ^{137}Cs шунгитом от объёма фильтрата. (I вариант после обработки фракции 0,315-0,630 мм, масса шунгита 5 г, линейная скорость 2,25 см/мин (расход – 1,8 мл/мин)).

Проскок в 10 % соответствует объёму исходного раствора 120 см^3, а проскок в 50 % соответствует объёму 250 см^3. При исследовании сорбционных свойств шунгита с обработкой в плазмотронах и без обработки в статических условиях установлено, что коэффициенты распределения ^{137}Cs при контакте ЖРО с шунгитом различного фракционного состава при времени контакта фаз от 4 до 96 часов и при соотношении ЖРО/шунгит, равном 10, достигают: для необработанного шунгита 23 см^3/г, для обработанного шунгита 82 см^3/г. Тонкодисперсный шунгит сорбирует эффективно с установлением сорбционного равновесия уже через 96 часов (4 дня), хотя для большинства неорганических сорбентов сорбционное равновесие наступает только через 7 дней. При исследовании сорбционных свойств образцов шунгита с обработкой в плазмотронах и без обработки в динамических условиях установлено, что скорость фильтрации через колонку с обработанным шунгитом в 2,7 раза больше скорости фильтрации через колонку с необработанным шунгитом, что свидетельствует об улучшении механических и гидродинамических характеристик шунгита.

Для АО ПО «Северное машиностроительное предприятие») изготовлены четыре комплекта радиохимических укладок корабельного радиометра РКС-02С-10 (ЛКВШ 05.351.0000.000). Радиометр ранее разработан совместно со специалистами СНИИП и в настоящее время серийно изготавливается на ПО «Импульс» г. Пятигорска.

Для Ростовской АЭС ежегодно поставляются блочные селективные сорбенты МФ-18-25, ТОА-18-25, ФМА-18-25, ДФ-18-25 для избирательного выделения из проб теплоносителя первых контуров реперных радионуклидов йода, цезия, стронция, бария и активированных продуктов коррозии.

Для АО «НИКИЭТ» изготовлены блочные сорбенты ФЦ18-25 (для выделения радиоактивного цезия), ТОА18-25 и С05-25 (для выделения радиоактивного йода), которые необходимы при контроле герметичности твэлов РУ Брест-ОД-300 [2].

Для ООО «Балтийский завод-Судостроение» изготовлены блочные сорбенты СКК–70–7, ФЦ–70–7, ТОА–70–7 (14.368.0000.00 ТУ), а также четыре укладки с импрегнированными мембранами «МИС-0,15-70» для экспрессного радиохимического анализа (в составе корабельного радиометра РКС-02С1) на первой плавучей АЭС.

Синтезированы новые селективные сорбенты на цезий, стронций и кобальт, а затем изготовлены и испытаны фильтр-контейнеры ММФ, МСС-Ц, МСС-С в количестве 27 штук для комплекса защитных камер [3-5].

Разработан проект и изготовлены два пескоуавливающих модуля для модульной мембранно-сорбционной установки очистки ЖРО системы самотечной спецканализации. Такие модули являются важным звеном в каскаде фильтров, так как значительная часть радионуклидов (от 95 % до 99 %) сорбирована на взвсях и коллоидах ЖРО ТЯЭУ. В состав модулей входят два унифицированных фильтра в виде контейнеров цилиндрической формы из нержавеющей стали со сменными кассетами для микропримесей и тонкодисперсных веществ. Модули изготовлены для замены существующих песколовок, размещенных в помещениях зданий института без изменения существующей трубопроводной обвязки и существенно улучшат условия труда и радиационную обстановку в зданиях.

Также в течение 2018 года выполнено 720 радиохимических анализов, позволивших провести классификацию жидких сбросов СК «Каскад». Из общего объёма водных сбросов, равного 5080 м^3, на переработку передано 400 м^3. Концентрат объёмом 55 м^3 направлен на

отверждение и захоронение в ЛОФ СЗТО ФГУП «РосРАО», это составляет ≈ 1 % от исходного количества водных сбросов. Себестоимость переработки одного кубического метра ЖРО на ЛОФ СЗТО ФГУП «РосРАО» составляет 40 тыс. руб. Стоимость переработки всех 5080 м^3 на ЛОФ СЗТО ФГУП «РосРАО» достигла бы 200 млн. руб. Стоимость переработки переданных 55 м^3 концентрата составила 2 млн. руб. Таким образом, экономический эффект от аналитического радиохимического контроля, переработки, концентрирования и очистки ЖРО на ММСУ-А в НИТИ без эксплуатационных затрат составил 198 млн. руб. Всего на установке ММСУ-А в 2018 году было переработано 545 м^3 ЖРО со всех стендовых ЯЭУ НИТИ. Экономический эффект от переработки в 2018 году составил 21 млн. руб.

На установке ММСУ-ВВЧ, разработанной специалистами лаборатории, получено в 2018 году 350 м^3 воды высокой чистоты для подпитки контуров ЯЭУ.

Литература

1. Епимахов В.Н. Контроль дезактивируемости лакокрасочных покрытий для АЭС/ В.Н. Епимахов, В.А. Феногенов, В.А. Прокопенко // IX Российская конференция с международным участием «Радиохимия-2018»: сборник тезисов. – СПб, 2018. – С. 184
2. Разработка методики измерения активности йода и цезия в пробах свинцового теплоносителя РУ БРЕСТ-ОД-300 / В.Н. Аваев, В.П. Васюхно, А.Е. Корнеев, А.В. Оськин // Научно-технический годовой отчёт НИКИЭТ. – 2018. – С. 205-206.
3. Патент РФ №2 669 013. Способ переработки маломинерализованных средне- и низкоактивных жидких радиоактивных отходов / В.Н. Епимахов, Н.И. Алешина, М.С. Олейник. – Б.И. № 28. 2018.
4. Фильтр-контейнер для очистки среднеактивных ЖРО от радионуклидов цезия / В.Н. Епимахов, Н.И. Алешина, М.С. Олейник, С.В. Прохоркин, В.С. Ткаченко // Второй научно-технический семинар «Современные технологии переработки и кондиционирования РАО». – СПб. – 2018.
5. Очистка среднеактивных ЖРО от радионуклидов цезия с использованием фильтр-контейнера / В.Н. Епимахов, Н.И. Алешина, М.С. Олейник, С.В. Прохоркин, В.С. Ткаченко // IX Российская конференция с международным участием «Радиохимия-2018»: сборник тезисов. – СПб, 1018. – С. 375.

5.3 Радиоэкологическая обстановка в зоне воздействия ядерных энергетических установок института

Е. Б. Панкина, М.П. Глухова, К.Г. Борисова

В НИТИ поэтапно разрабатывается АСКРО, пусковой комплекс которой введен в эксплуатацию в 2015 году. В основу АСКРО положен гибридный мониторинг, включающий

прямые автоматизированные и лабораторные измерения. В автоматизированном режиме осуществляется оперативный контроль мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения на местности и от аэрозольных фильтров, размещенных на постах контроля радиационной обстановки и воздушной среды. В состав АСКРО входит автоматизированная метеостанция и автоматический пост радиационного контроля воды заборного канала НИТИ. Данные автоматизированной метеостанции используются при расчёте дозовых нагрузок на население от выбросов НИТИ. Расчёт доз поддерживается специализированным программным обеспечением для случаев текущей и аварийной эксплуатации предприятия. Лабораторными методами анализа проводятся измерение и оценка радиационного состояния воздушной, водной и наземной природной среды в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения НИТИ.

За 2018 год проведены исследования работоспособности технических средств верхнего (ВУ) и нижнего уровня (НУ) АСКРО НИТИ на основе ежесуточного дневника эксплуатации АСКРО. Представлены результаты изучения радионуклидного состава и активности: газо-аэрозольных выбросов, водных сбросов ядерных энергетических установок (ЯЭУ) НИТИ и объектов природной среды на промплощадке и в зоне наблюдения НИТИ. Выполнен анализ данных, поступающих со всех измерительных каналов АСКРО НИТИ. Оперативная оценка радиационной обстановки проведена на основе обработки статистических рядов значений мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД), поступающих с восьми постов АСКРО и четырёх постов системы автоматизированного контроля атмосферного воздуха (САРКАВ). Исследовано радиационное состояние воды, поступающей на охлаждение оборудования ЯЭУ НИТИ по данным поста радиационного контроля воды АСКРО. Проведен анализ соответствия результатов радиоэкологического контроля действующим федеральным нормативам по радиационной безопасности и ведомственным нормативам по допустимым выбросам и сбросам. Совокупность полученной фактической информации по измерительным каналам метеостанции АСКРО и данных о количественном содержании радионуклидов в выбросах и сбросах позволила рассчитать индивидуальные эффективные дозы на население города Сосновый Бор от эксплуатации ЯЭУ НИТИ.

1. Оценка работоспособности технических средств АСКРО НИТИ

Проведен расчёт процентного времени бесперебойной работы всех технических средств АСКРО. Все случаи отсутствия регулярных данных на центральном пульте контроля (ЦПК) и АРМах АСКРО НИТИ были условно разделены на две группы. В первую группу («А») вошли случаи, связанные с потерей работоспособности непосредственно технических средств нижнего и верхнего уровней АСКРО НИТИ. Во вторую группу («Б») включены простои оборудования АСКРО, не связанные с ее эксплуатацией, например, из-за планового отключения электроэнергии на подстанциях, отключения локальной сети и др.

Примером иллюстрации оценки работы каналов измерения МАЭД на местности и МАЭД от аэрозольных фильтров на постах АСКРО НИТИ служат *рисунки 1 и 2*.

На *рисунке 1* выделяются два периода простоя каналов измерения МАЭД на местности. В первом квартале на посту 1 проводилось плановое отключение электропитания из-за ремонта на подстанции. Во втором квартале на посту 7 отсутствие данных по каналу измерения МАЭД было связано с периодом выхода из строя датчика УДБГ-01-02 и его замены.

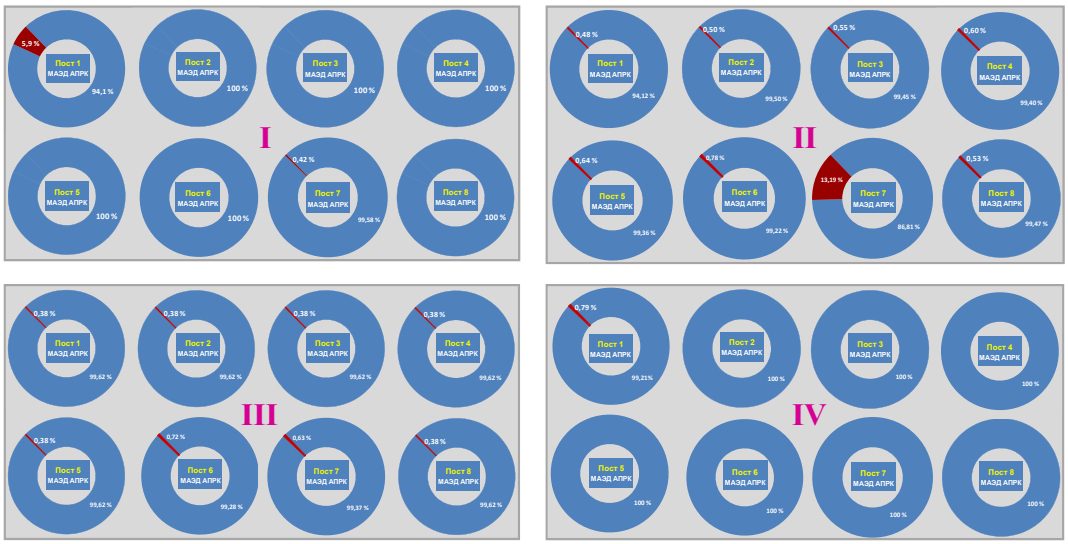


Рисунок 1 – Посты 1-8. Оценка работы каналов измерения МАЭД на местности в I - IV кварталах 2018 года, %. ■ *– работает,* ■ *– не работает*

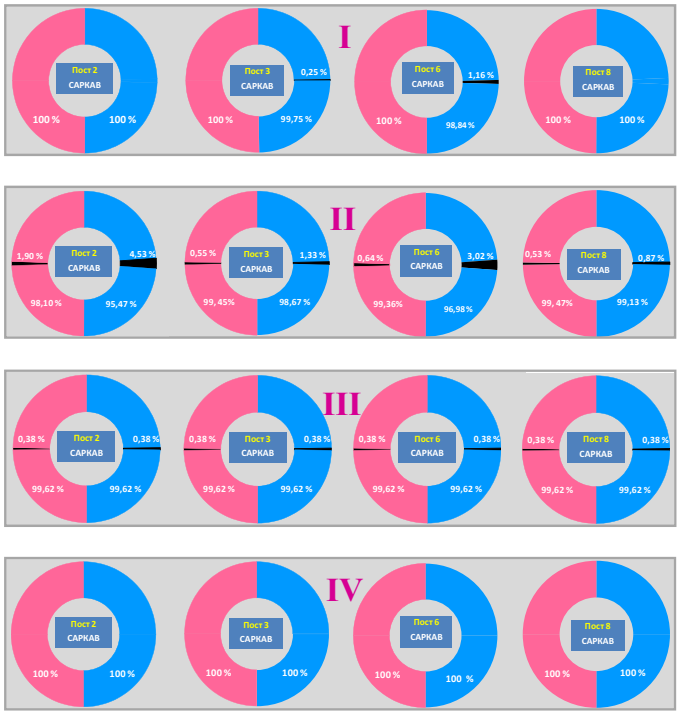


Рисунок 2 – Посты 2,3, 6 и 8. Оценка работы каналов измерения

Системы радиационного контроля атмосферного воздуха АСКРО НИТИ, %:
■ *– МАЭД от аэрозольного фильтра,* ■ *– объём прокаченного воздуха,* ■ *– не работает.*

На *рисунке 2* выделяются два периода простоя каналов измерения объёма прокаченного воздуха через вентиляционную фильтрующую установку (ВФУ) с аэрозольным фильтром и оба приходятся на второй квартал. На посту 2 передача данных отсутствовала из-за повреждения кабеля во время строительных работ и периода его восстановления. Из-за

плановых работ отдела физической защиты было отключение электропитания на посту 6 АСКРО НИТИ. В остальной период наблюдались незначительные перебои работы измерительных каналов, которые не повлияли на работоспособность системы в целом.

В 2018 году среднее время нерабочего состояния системы АСКРО НИТИ составило 23,4 суток. Из них только треть времени обусловлена отказами непосредственно технических средств ВУ и НУ АСКРО (*таблица 1*).

Таблица 1

Результаты оценки времени простоя АСКРО НИТИ в 2018 году

Тип измерительного канала	Время отказов измерительных каналов АСКРО			
	Группа «А»:		Группа «Б»:	
	сутки	%	сутки	%
Каналы МАЭД	2,1	0,61	1,1	0,33
Каналы САРКАВ	1,6	0,48	2,5	0,75
Каналы МК-14-1	0,9	0,29	2,8	0,83
Канал ПРКВ	3,9	1,18	8,5	2,53
Сумма	8,5	2,56	14,9	4,44

Работоспособность каналов измерения МАЭД на местности от 8 постов АСКРО НИТИ составила 99,1 %, каналов измерения МАЭД от аэрозольных фильтров на 4 постах АСКРО НИТИ – 99,7 %, каналов измерения объёма прокаченного воздуха на 4 постах АСКРО НИТИ – 99,2 %, семи каналов измерения метеостанции – 99,0 %, двух каналов измерения на посту радиационного контроля воды – 96,2 %. За отчетный период работу основных технических средств АСКРО НИТИ оцениваем положительно.

2. Анализ значений МАЭД по данным АСКРО

С помощью специального программного обеспечения АСКРО «Анализ РЭО» проанализировано более миллиона значений МАЭД на местности и более 150 тысяч значений МАЭД от аэрозольных фильтров. МАЭД на местности измеряется датчиками УДБГ-01-02, закрепленными на антенной опоре на высоте 2,5 метра. МАЭД от аэрозольного фильтра измеряется датчиками АСРКБ1У.14-1, размещенными внутри домиков в непосредственной близости от ВФУ САРКАВ.

Основной массив значений МАЭД на местности в 2018 году был ниже контрольного уровня (0,6 мкЗв/час) и находился в пределах 0,05–0,24 мкЗв/час. В течение года системой АСКРО было зафиксировано кратковременное повышение уровней значений МАЭД по отношению к основному массиву данных. В основном, эти уровни были связаны с двумя причинами. На территории предприятия в плановом порядке проводились работы по инспектированию качества сварных соединений труб с применением дефектоскопов с радионуклидными источниками.

Эта дефектация была зарегистрирована датчиками постов 3 и 4 АСКРО НИТИ в январе, июне и августе 2018 года. *Рисунок 3* иллюстрирует изменения значений МАЭД в период проведения дефектации (справа) на фоне общего квартального массива данных МАЭД (слева).

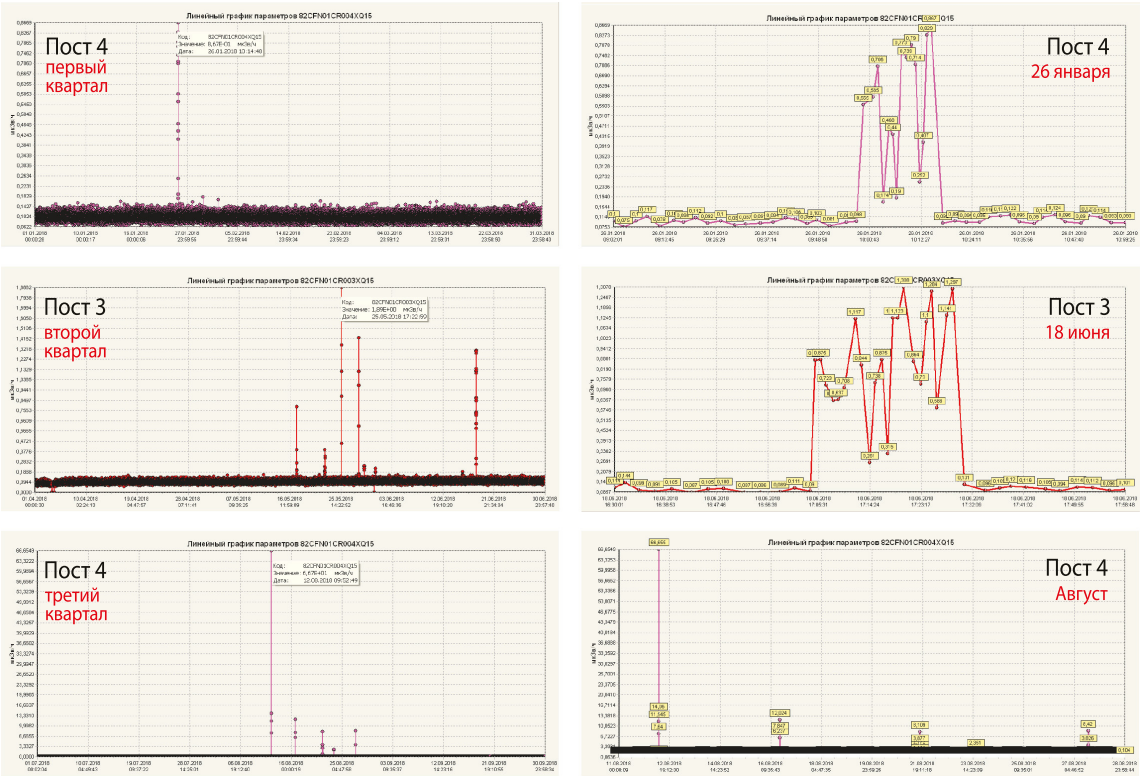


Рисунок 3 – Динамика МАЭД на постах АСКРО НИТИ в период проведения работ по дефектации сварных соединений труб

Вторая причина повышения значений МАЭД связана с вывозом радиоактивных отходов через транспортную проходную НИТИ на специализированное предприятие по переработке радиоактивных отходов. В 2018 году радиоактивные отходы дважды транспортировали через проходную, около которой размещен пост 5 АСКРО НИТИ (*рисунок 4*).

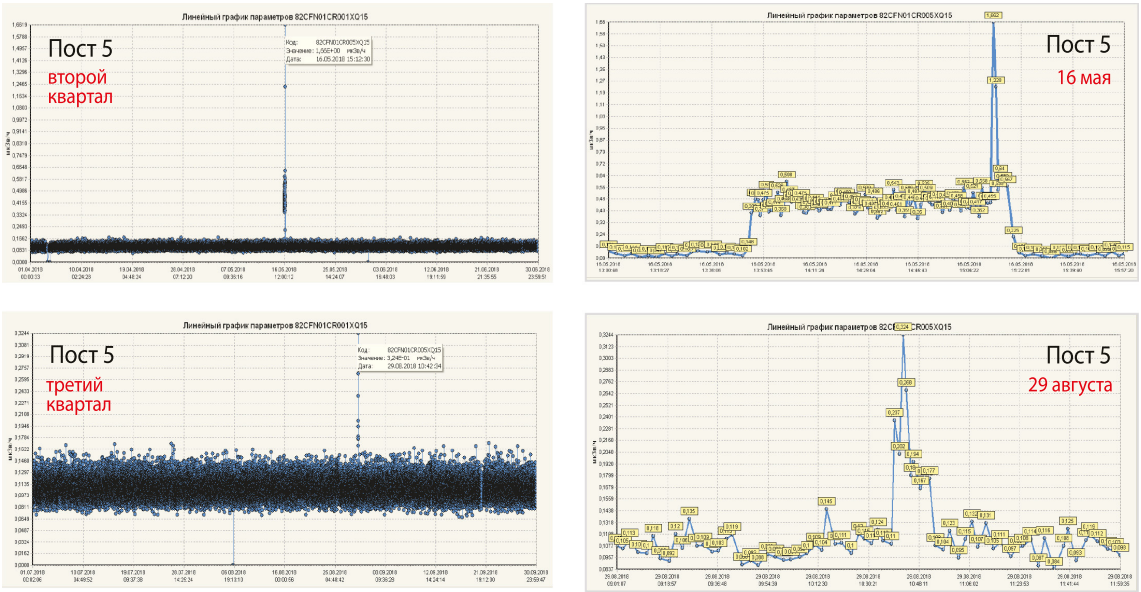


Рисунок 4 – Динамика МАЭД на посту 5 АСКРО НИТИ во время движения спецтранспорта с радиоактивными отходами на предприятие по переработке РАО

В дополнение к измерениям МАЭД на местности проводятся непрерывные измерения МАЭД от аэрозолей атмосферного воздуха. В случае поступления аэрозольного радиоактивного загрязнения в атмосферный воздух, этот вид контроля является более оперативным для ранней диагностики радиоактивных выбросов. В 2018 году диапазоны наблюдаемых значений МАЭД от аэрозольных фильтров всех постов САРКАВ варьировали в пределах 0,06–0,22 мкбэр/час. Эти данные находятся внутри диапазона значений 0,05–0,24 мкбэр/час, которые регистрировались в течение года датчиками УДБГ-01-02, установленными на антенных опорах постов АСКРО НИТИ. Значения МАЭД от аэрозольных фильтров хорошо согласуются с диапазоном значений МАЭД, регистрируемых на местности постами АСКРО НИТИ. На примере работы датчиков УДБГ-01-02 и АСРКБ1У.14-1 поста 3 АСКРО отчетливо видна временная синхронность пиков значений МАЭД *(рисунок 5*).

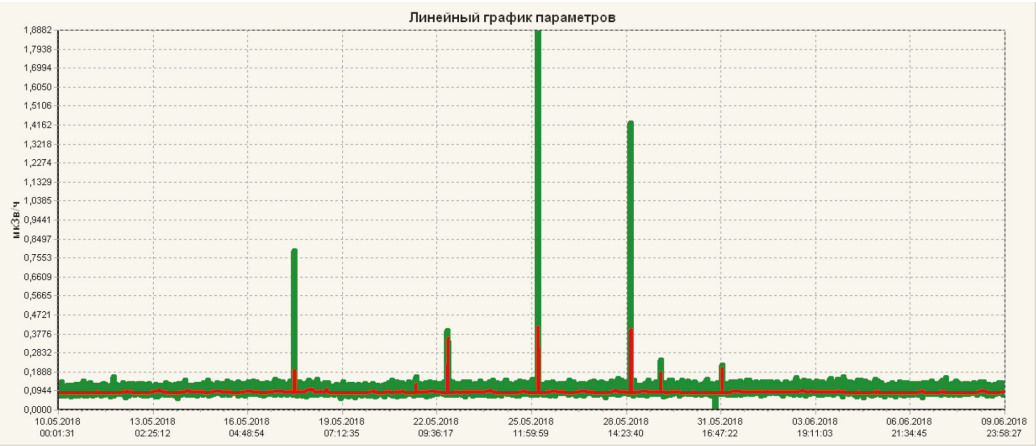


Рисунок 5 – Пост 3. Динамика МАЭД на местности (зеленый)
и от аэрозольного фильтра (красный) в мае 2018 года

Более низкие значения МАЭД от аэрозольного фильтра в период транспортировки дефектоскопов с радионуклидными источниками связаны с поглощением внешнего гамма-излучения ограждениями внешнего периметра территории НИТИ и стенами домика, в котором размещена ВФУ с тканью Петрянова и датчиком АСРКБ1У.14-01.

Зарегистрированные системой АСКРО превышения значений МАЭД над общим массивом данных не связаны с эксплуатацией ЯЭУ НИТИ, а вызваны плановыми работами лаборатории неразрушающего контроля на территории с дефектоскопами, содержащими ИИИ, а также с периодическим вывозом радиоактивных отходов на ЛО СЗТО ФГУП «РосРАО». На фоне основного массива данных эти превышения не повлияли на среднегодовые значения МАЭД, которые на всех постах промплощадки НИТИ по всем каналам измерения находились в пределах от 0,09 до 0,11 мкЗв/час. Такие уровни характерны для гамма-фона нашей зоны наблюдения, сформированного активностью нуклидов природного происхождения, и свидетельствуют о благоприятной радиационной обстановке на территории НИТИ.

3. Радиационное состояние приземного атмосферного воздуха

Отборы проб аэрозолей атмосферного воздуха проводились непрерывно на фильтры ФПП-15-1,5 с заменой фильтров на четырёх постах САРКАВ в конце каждого месяца. Фильтры с аэрозолями поступали на поэтапный радиохимический анализ для определения объёмной активности радионуклидов в воздушной среде.

В приземном слое воздуха на территории НИТИ с частотой обнаружения более 80 % (не менее 38-ти проб из 48 с экспозицией 30 суток) присутствует ^{137}Cs и нуклиды коррозионного происхождения: ^{60}Co и ^{54}Mn (*рисунок 6*). По данным гамма-спектрометрического анализа изотопы йода в аэрозолях атмосферного воздуха не обнаружены, что свидетельствует о хорошей работе систем выдержки и очистки газов в НИТИ и газоподавления на Ленинградской АС.

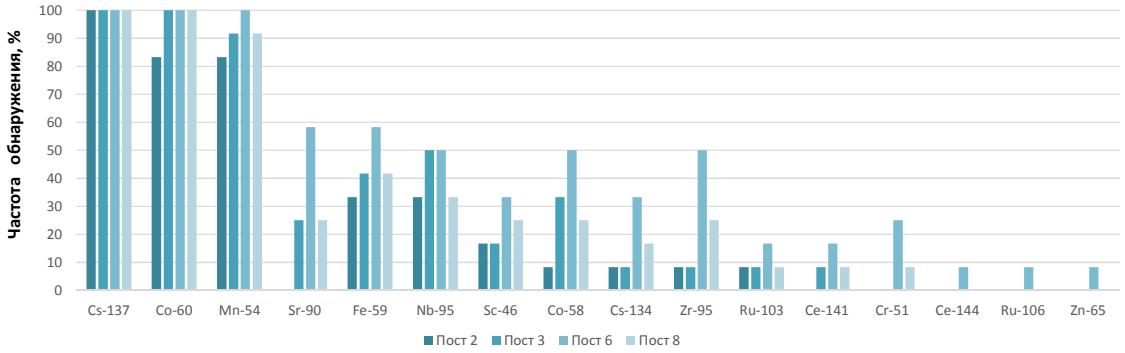


Рисунок 6 – Частота обнаружения радионуклида в аэрозолях атмосферного воздуха на постах АСКРО НИТИ, %

Из всей годовой статистической информации по аэрозольной активности атмосферного воздуха в зоне воздействия ЯЭУ НИТИ были выбраны максимальные значения объёмной активности конкретных нуклидов и на их основе определены годовые радионуклидные ряды по увеличению радиогигиенической значимости радионуклида согласно критерию $ДОА_{НАС}$ по НРБ-99/2009 (*таблица 2*).

Таблица 2

Максимальные объёмные активности радионуклидов в аэрозолях атмосферного воздуха на промплощадке НИТИ в 2018 году относительно $ДОА_{нас}$

Радионуклид	$ДОА_{нас}$, Бк/м^3	Объёмная активность, Бк/м^3	Месяц отбора	Номер поста АСКРО	Процент от $ДОА_{нас}$, %
^{60}Co	11	$2{,}0\cdot10^{-4}$	май	6	$1{,}9\cdot10^{-3}$
^{137}Cs	27	$1{,}4\cdot10^{-4}$	ноябрь	6	$5{,}3\cdot10^{-4}$
^{144}Ce	3,3	$1{,}5\cdot10^{-5}$	август	6	$4{,}6\cdot10^{-4}$
^{106}Ru	4,4	$1{,}3\cdot10^{-5}$	август	6	$2{,}9\cdot10^{-4}$
^{59}Fe	30	$7{,}6\cdot10^{-5}$	август	6	$2{,}6\cdot10^{-4}$
^{46}Sc	16	$3{,}4\cdot10^{-5}$	май	6	$2{,}1\cdot10^{-4}$
^{95}Zr	23	$3{,}6\cdot10^{-5}$	октябрь	6	$1{,}6\cdot10^{-4}$
^{134}Cs	19	$3{,}0\cdot10^{-5}$	август	6	$1{,}6\cdot10^{-4}$
^{90}Sr	2,7	$3{,}6\cdot10^{-6}$	август	6	$1{,}3\cdot10^{-4}$
^{95}Nb	72	$9{,}2\cdot10^{-5}$	октябрь	6	$1{,}3\cdot10^{-4}$
^{54}Mn	72	$4{,}6\cdot10^{-5}$	сентябрь	6	$6{,}3\cdot10^{-5}$
^{141}Ce	33	$7{,}8\cdot10^{-6}$	август	6	$2{,}4\cdot10^{-5}$
^{58}Co	68	$1{,}3\cdot10^{-5}$	август	6	$2{,}0\cdot10^{-5}$
^{103}Ru	46	$6{,}2\cdot10^{-6}$	август	6	$1{,}4\cdot10^{-5}$
^{65}Zn	72	$4{,}2\cdot10^{-6}$	август	6	$5{,}8\cdot10^{-6}$
^{51}Cr	2500	$6{,}2\cdot10^{-5}$	август	6	$2{,}5\cdot10^{-6}$

Из анализа данных 2018 года следует, что на территории НИТИ максимальное содержание радионуклидов в атмосферном воздухе, регистрируемое системой АСКРО НИТИ на 4–7 порядков ниже величин соответствующих ДОАНАС, установленных НРБ-99/2009. С этой точки зрения наиболее значимым из обнаруженных нуклидов являются ^{60}Co и ^{137}Cs. Основное количество радионуклидов с максимальной активностью наблюдалось в августе 2018 года. При этом абсолютно все радионуклиды в аэрозолях воздуха с «пиковой» активностью зарегистрированы на территории поста 6, который находится на границе с предприятиями атомно-промышленного комплекса г. Сосновый Бор, выполняющими сбор, переработку и хранение радиоактивных отходов. Этот пост является важным пунктом контроля из-за возможности регистрации на его территории, как правило, максимального радиоактивного загрязнения воздуха за счет расширенной зоны воздействия, как собственно источников внутри нашего предприятия, так и источников от других радиационно-опасных объектов, находящихся на смежных с НИТИ площадках.

Низкие уровни объёмной активности нуклидов в атмосферном воздухе в 2018 году подтверждают благополучное радиационное состояние воздушной среды на территории НИТИ.

4. Радиационное состояние воды заборного канала НИТИ

Автоматизированный радиационный контроль воды заборного канала проводится на посту 4 АСКРО с помощью радиометра гамма-излучения спектрометрического для мониторинга жидких сред (РСКВ-01). РСКВ-01 фиксирует минимально детектируемую объёмную активность (МДА) гамма-излучающих нуклидов по ^{137}Cs. Информация с РСКВ-01 непрерывно поступала на верхний уровень АСКРО. Нижний предел МДА ^{137}Cs варьировал от 374 до 411 Бк/м^3.

В августе 2018 года зарегистрированы три периода срабатывания датчика РСКВ-01 (9, 12 и 15 августа) из-за внешнего гамма-излучения от работ по дефектации сварных швов в районе размещения радиометра (*рисунок 7*).

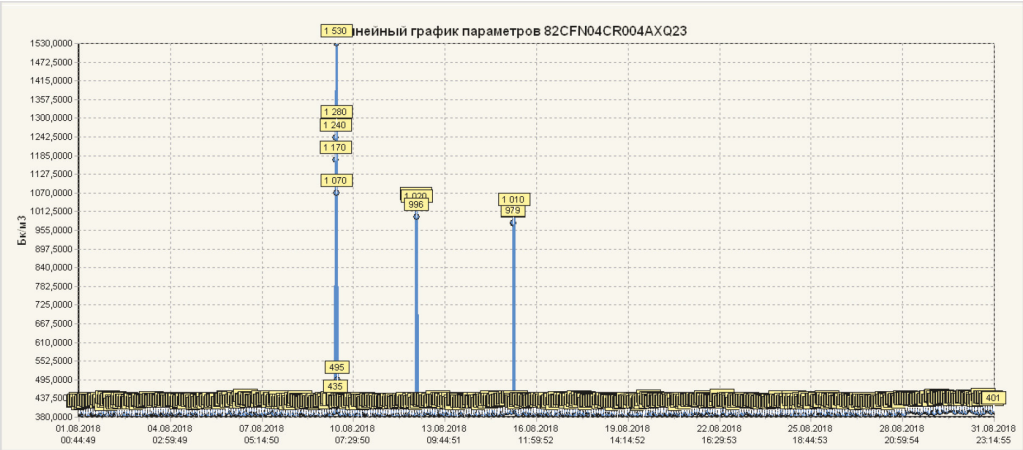


Рисунок 7 – Динамика значений объёмной активности ^{137}Cs в водозаборном канале НИТИ в августе 2018 года, Бк/м^3

Это не связано с повышением объёмной активности ^{137}Cs в воде водозаборного канала, что подтверждено данными детального лабораторного контроля (радиохимический анализ из 95 дм^3 воды). Объёмная активность ^{137}Cs в воде заборного канала в августе 2018 года составила 9,1 Бк/м^3 (*рисунок 8*).

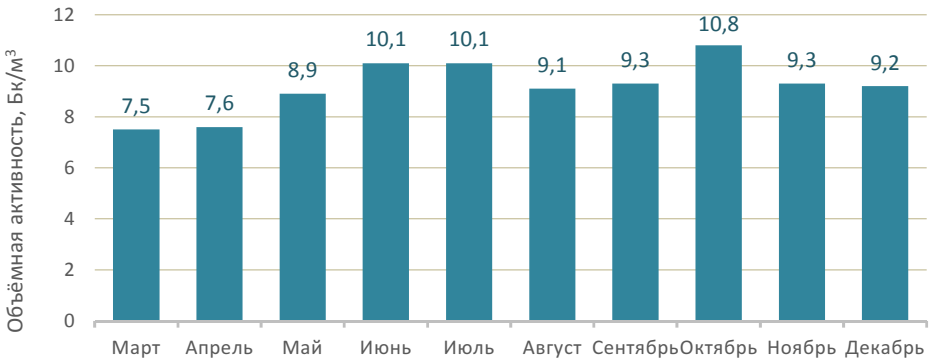


Рисунок 8 – Динамика объёмной активности ^{137}Cs в водозаборном канале НИТИ в 2018 году по данным лабораторного контроля, Бк/м^3

Безусловно, метод прямых измерений активности ^{137}Cs в потоке воды является менее чувствительным по сравнению с классическим лабораторным радиохимическим анализом, который предусматривает степень концентрирования радионуклида в пробе до 900 раз. Однако для задач непрерывного радиационного контроля воды нижний предел 350–420 Бк/м^3, регистрируемый прямыми измерениями, является достаточным, т.к. не превышает УВ по НРБ-99/2009 для объёмной активности ^{137}Cs, которая составляет 11 000 Бк/м^3 (11 Бк/кг).

Недостатком проточной системы радиационного контроля природной воды является постепенное накопление радионуклидов на стенках внутренней камеры за счет процессов сорбции. Поэтому техническим обслуживанием РСКВ-01 предусматривается периодическая отмывка и дезактивация рабочей камеры и технологических каналов от радионуклидов, осевших на камере и иловых отложениях. В октябре 2018 года проводились такие работы на РСКВ-01, после которых значения регистрируемой активности в камере снизились до 350–390 Бк/м^3 (*рисунок 9*) и продолжали находиться на этих же уровнях до конца 2018 года.

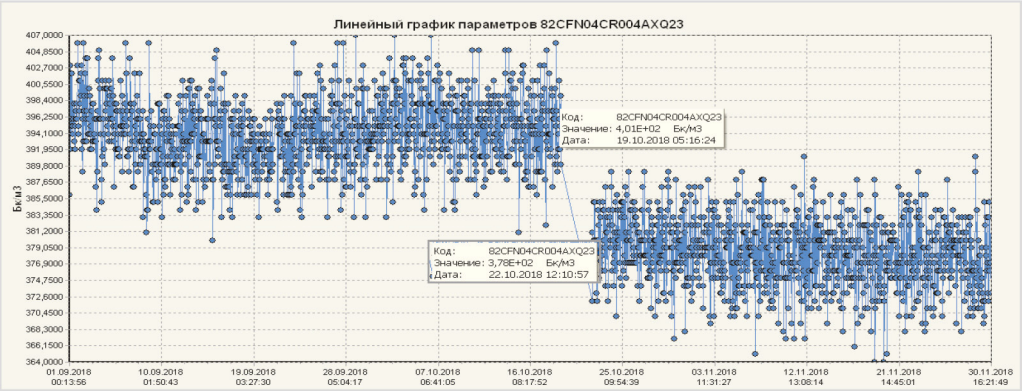


Рисунок 9 – Динамика значений объёмной активности ^{137}Cs, зарегистрированных датчиком РСКВ-01, до и после технического обслуживания, Бк/м^3

По данным, полученным от автоматизированного поста радиационного контроля воды АСКРО, подтверждено благополучное радиационное состояние воды, поступающей на охлаждение оборудования ЯЭУ НИТИ. Колебания фоновой активности ^{137}Cs в течение года не превышали уровней вмешательства по федеральным нормам радиационной безопасности.

5. Радиационное состояние грунтовых вод

В 2018 году мониторинг грунтовых вод на территории НИТИ проводился в 46 скважинах наблюдательной сети. Шестнадцать новых скважин оборудованы в 2016 году. Чтобы их отличить от действующих скважин 2004 года закладки, им присвоен индекс «Н». В грунтовых водах из всех скважин с периодичностью один раз в месяц измерялась удельная активность трития. В грунтовых водах 23 скважин, выбранных для детальных исследований, определялась удельная бета-активность, содержание гамма-излучающих радионуклидов и ^{90}Sr (*рисунок 10*).

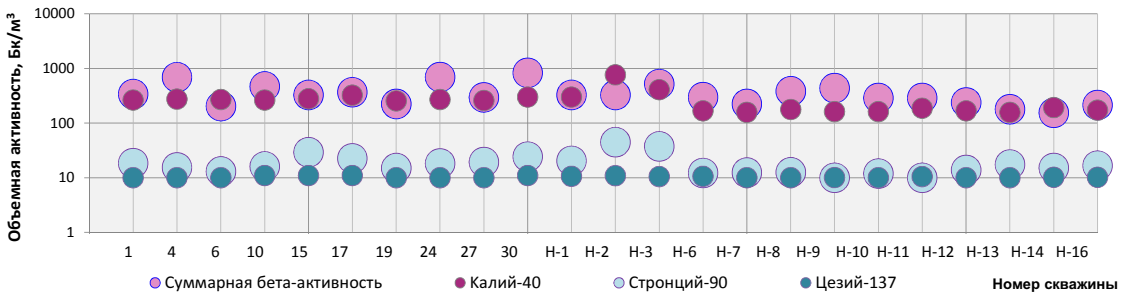


Рисунок 10 – Объёмная активность нуклидов в грунтовых водах на промплощадке НИТИ в 2018 году

Суммарная объёмная активность грунтовых вод практически полностью обусловлена природным нуклидом ^{40}K. Разброс данных по суммарной бета-активности грунтовых вод (140–980 Бк/м^3) объясняется различной массой мелкодисперсных и коллоидных частиц, которые остаются в пробах грунтовых вод после отделения относительно крупных взвешенных веществ с помощью фильтров «белая лента», предусмотренных методикой пробоподготовки. В 65 % от общего количества результатов измерений радионуклидный состав обследованных вод достоверно представлен ^{90}Sr (10–51 Бк/м^3) и в 4 % – тритием (11–18 Бк/дм^3). Техногенные гамма-излучающие нуклиды в грунтовой воде отсутствовали (ниже МДА). Объёмная активность достоверно обнаруженных радионуклидов ^{90}Sr и трития была в 50–420 раз ниже УВ по НРБ-99/2009. По данным радиоэкологического обследования состояние грунтовых вод на территории НИТИ является благополучным.

6. Радиационное состояние почвенно-растительного покрова

Пробы почвы и растительности отбираются одновременно каждый сезон в период максимальной вегетации растительности в одних и тех же пунктах наблюдения. Пробы почвы отбираются из поверхностного пятисантиметрового целинного слоя площадью 0,02 м^2 в восьми пунктах санитарно-защитной зоны (территория НИТИ) и зоны наблюдения НИТИ. В зоне наблюдения находится пять пунктов отбора. К ним относятся предприятия атомно-промышленного комплекса, город Сосновый Бор и два пункта на расстоянии 14 км и 23 км от НИТИ. Самый дальний пункт – деревня Лопухинка. Площадь отбора растительности зависит от густоты растительного покрова, в 2018 году она составляла от 4 до 6 м^2.

Активность почвенно-растительного покрова в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения, также, как и водных сред, определялась активностью ^{40}K природного происхож-

дения, доля которого в 2018 году для почв составляла в среднем 95 %, для растительности – 99,4 %. Кроме ^{40}K в почве и растительности присутствовали ^{90}Sr и ^{137}Cs. Коррозионные радионуклиды ^{60}Co и ^{54}Mn обнаружены только в пробе почвы, отобранной вблизи ЛО СЗТО ФГУП «РосРАО» на уровне удельной активности не более 30 Бк/кг сырой массы. Другие радионуклиды в почвенно-растительном покрове в 2018 году не зарегистрированы.

Уровни поверхностного загрязнения почвы техногенными радионуклидами на территории НИТИ в 2018 году были ниже, чем в промышленной зоне. Плотность поверхностного загрязнения почвенных покровов в пределах района обследования составила: ^{137}Cs – в среднем 1 700 Бк/м^2, ^{90}Sr – в среднем 200 Бк/м^2 (*рисунок 11*). В городе Сосновый Бор плотность поверхностного загрязнения почвенного покрова радионуклидами была на уровне средних значений по зоне наблюдения.

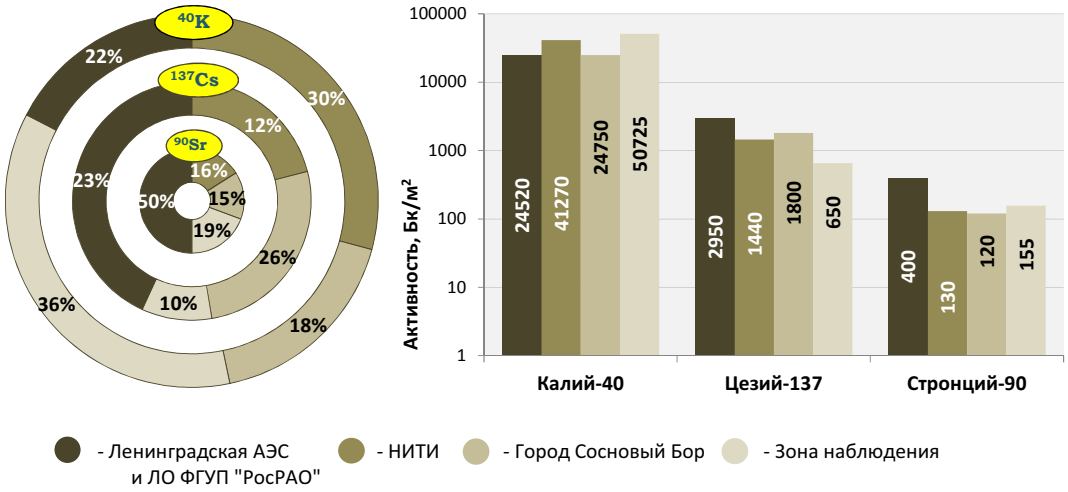


Рисунок 11 – Плотность загрязнения почв радионуклидами в 2018 году

Растительный покров района наблюдений загрязнен радионуклидами ^{90}Sr, ^{137}Cs в меньшей степени, чем почвенный (*рисунок 12*).

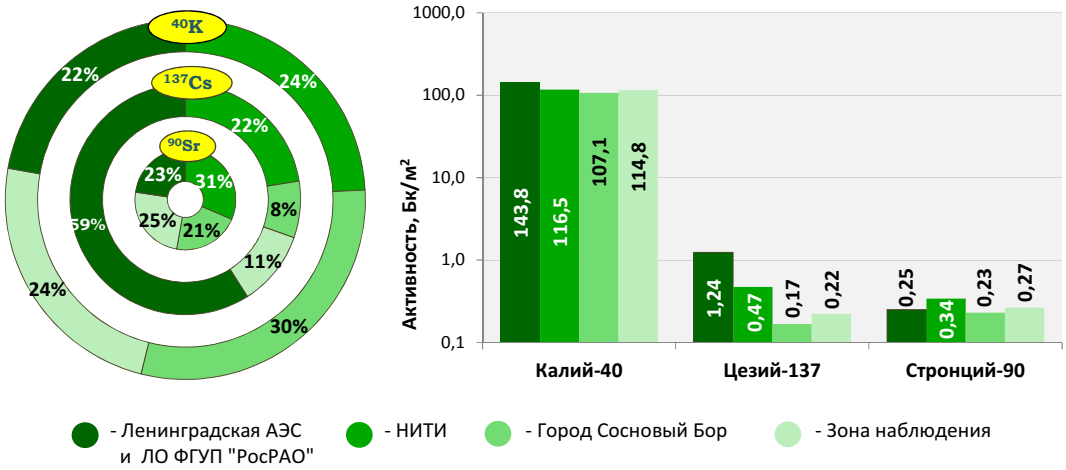


Рисунок 12 – Плотность загрязнения растительности радионуклидами в 2018 году

В среднем по району уровни загрязнения растительности составили: ^{137}Cs – 0,53 Бк/м^2, ^{90}Sr – 0,27 Бк/м^2.

Поступление нуклидов коррозионного происхождения ^{54}Mn и ^{60}Co, которые обнаружены в пробах почвы у промплощадки ЛО «РосРАО», не связано с деятельностью НИТИ. Это подтверждено отсутствием достоверных значений данных нуклидов в выбросных трубах нашего предприятия и их наибольшей активностью в атмосферном воздухе поста 6 АСКРО НИТИ, который находится вблизи ЛО «РосРАО» и КПО ЛАЭС.

Следовательно, в промышленной зоне города Сосновый Бор и в зоне наблюдения НИТИ уровни радиоактивного загрязнения воздушных, водных и наземных объектов природной среды в 2018 году не превышали среднерегиональных значений.

Регистрация незначительных количеств коррозионных радионуклидов в воздушной среде на постах АСКРО НИТИ является следствием текущих работ на близлежащих предприятиях атомно-промышленного комплекса, связанных с эксплуатацией ЯЭУ и процессов обращения с радиоактивными отходами. Уровни следовых количеств радионуклидов в приземном воздухе, наблюдаемые на промплощадке НИТИ, радиоэкологически безопасны для персонала предприятий и проживающего в городе Сосновый Бор населения.

7. Оценка воздействия эксплуатации ЯЭУ НИТИ на радиационную обстановку зоны наблюдения

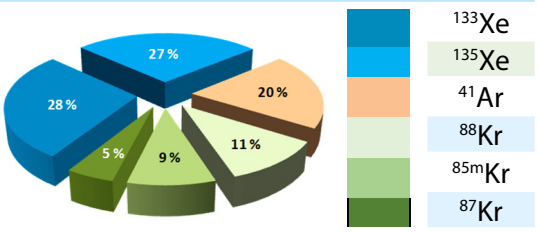
Оценка воздействия эксплуатации ЯЭУ НИТИ на население проведена по расчёту индивидуальных эффективных доз и радиационного риска от выбросов и сбросов предприятия. Крупным населенным пунктом в зоне наблюдения НИТИ является город Сосновый Бор Ленинградской области численностью 68 тысяч жителей. Расчёты доз проведены с учётом того, что ближайшая граница города Сосновый Бор находится в 5 км от предприятия. В 2018 году источниками воздействия предприятия на природную среду были выбросы и сбросы двух ЯЭУ, на которых проводились эксплуатационные, ремонтные и модернизационные работы.

В целом по предприятию годовой суммарный выброс радиоактивных веществ в атмосферу был ниже ДВ и составил $3{,}76 \cdot 10^{11}$ Бк. Основной вклад в активность выброса внесли радионуклиды инертных газов (ИРГ) (*таблица 3*).

Таблица 3

Радионуклидный состав и активность газо-аэрозольных выбросов в 2018 году

Состав выброса	Разрешенный допустимый выброс ДВ, Бк	Фактический выброс		Распределение ИРГ в выбросе, %
		Бк	% от ДВ	
Сумма ИРГ	$8{,}20 \cdot 10^{15}$	$3{,}76 \cdot 10^{11}$	$5{,}0 \cdot 10^{-3}$	
^{137}Cs	$1{,}58 \cdot 10^{10}$	$2{,}49 \cdot 10^{5}$	$1{,}6 \cdot 10^{-3}$	
^{90}Sr	$6{,}29 \cdot 10^{9}$	$1{,}17 \cdot 10^{5}$	$1{,}9 \cdot 10^{-3}$	
^{60}Co	$2{,}83 \cdot 10^{9}$	$2{,}84 \cdot 10^{4}$	$1{,}0 \cdot 10^{-3}$	



Годовой сброс радиоактивных веществ оценивался по результатам анализа объёмов и активности воды в накопительных баках, сливы из которых организованы в сбросной канал предприятия (*таблица 4*). Регулярно проводится радиохимический анализ воды сбросного канала НИТИ. Однако оценить реальную активность годового сброса по этим данным невозможно. Объёмная активность регистрируемых радионуклидов в воде сбросного и заборного каналов, как правило, не отличается друг от друга. Кроме того, пробы воды из каналов НИТИ отбираются один раз в неделю, поэтому нет гарантии того, что все сливы из баков попадают в отобранную пробу. Поэтому перспективным решением для фактической оценки сбросов НИТИ является организация непрерывного репрезентативного отбора проб воды из каналов. В рамках совершенствования АСКРО НИТИ предполагается размещение поста непрерывного отбора воды на сбросном канале. Преимуществом оценки годового сброса радионуклидов по содержимому сливных баков в настоящее время является фиксированный объём и детальный анализ воды из каждого бака перед его опорожнением. Решение о сливе принимается на основании соответствия активности воды нормам (контрольным уровням) на сброс.

Таблица 4

Радионуклидный состав и активность сбросов в 2018 году

Состав сброса	Разрешенный допустимый сброс (ДС), Бк/год	Фактический сброс	
		Бк/год	% от ДС
^{3}H	$2{,}40 \cdot 10^{12}$	$1{,}68 \cdot 10^{10}$	0,7
^{54}Mn	$1{,}00 \cdot 10^{8}$	$2{,}51 \cdot 10^{3}$	0,003
^{90}Sr	$1{,}20 \cdot 10^{7}$	$9{,}22 \cdot 10^{5}$	7,7
^{137}Cs	$3{,}60 \cdot 10^{6}$	$1{,}35 \cdot 10^{6}$	37,6

Годовой суммарный сброс радиоактивных веществ в сбросной канал НИТИ был ниже ДС соответствующих радионуклидов и составил $2{,}28 \cdot 10^{6}$ Бк.

Сводные результаты выполненной оценки индивидуальной эффективной дозы на население города Сосновый Бор от радиоактивных выбросов и сбросов, обусловленных производственной деятельностью ЯЭУ НИТИ в 2018 году, приведены в *таблице 5*. Годовая эффективная доза для населения на 99,4 % определялась газо-аэрозольными выбросами. Суммарная эффективная доза жителя города Сосновый Бор составила $3{,}41 \cdot 10^{-10}$ Зв, что существенно ниже квоты 0,2 мЗв, выделенной НИТИ на выбросы и сбросы радионуклидов.

Годовой дозе 2018 года, сформированной выбросами и сбросами НИТИ, соответствует значение радиационного риска $1{,}94 \cdot 10^{-11}$ год$^{-1}$, что существенно ниже предела индивидуального пожизненного риска для населения ($5{,}0 \cdot 10^{-5}$) согласно НРБ 99/2009.

Результаты выполненных в 2018 году исследований подтверждают нормальную радиоэкологическую обстановку в зоне воздействия ЯЭУ НИТИ. Фактические значения годовой дозы и радиационного риска от эксплуатации установок незначимы для населения города Сосновый Бор.

Таблица 5

Индивидуальные эффективные дозы на население города Сосновый Бор от эксплуатации ЯЭУ НИТИ в 2018 году

	Вид облучения	Радионуклиды	Индивидуальная эффективная доза, Зв/год	
Газо-аэрозольные выбросы	Внешнее фотонное от облака	ИРГ	$3{,}26 \cdot 10^{-10}$	$3{,}26 \cdot 10^{-10}$
		^{137}Cs	$2{,}09 \cdot 10^{-16}$	
		^{60}Co	$1{,}05 \cdot 10^{-16}$	
	Внешнее фотонное от почвы	^{137}Cs	$8{,}67 \cdot 10^{-12}$	$1{,}01 \cdot 10^{-11}$
		^{60}Co	$1{,}43 \cdot 10^{-12}$	
	Внешнее от бета излучения облака	ИРГ	$2{,}52 \cdot 10^{-12}$	$2{,}52 \cdot 10^{-12}$
		^{137}Cs	$1{,}03 \cdot 10^{-18}$	
		^{60}Co	$3{,}97 \cdot 10^{-20}$	
		^{90}Sr	$3{,}48 \cdot 10^{-19}$	
	Внутреннее ингаляционное	^{137}Cs	$1{,}63 \cdot 10^{-14}$	$9{,}56 \cdot 10^{-14}$
		^{60}Co	$4{,}31 \cdot 10^{-15}$	
		^{90}Sr	$7{,}50 \cdot 10^{-14}$	
			Сумма от выбросов	$3{,}39 \cdot 10^{-10}$
Сбросы	Внутреннее пероральное	^{137}Cs	$1{,}22 \cdot 10^{-12}$	
		^{90}Sr	$2{,}75 \cdot 10^{-13}$	
		^{54}Mn	$6{,}22 \cdot 10^{-15}$	
		^{3}H	$1{,}34 \cdot 10^{-12}$	
			Сумма от сбросов	$2{,}84 \cdot 10^{-12}$
			Сумма от выбросов и сбросов	$3{,}41 \cdot 10^{-10}$

Статья подготовлена на основе отчёта о НИР «Результаты радиоэкологического контроля в зоне воздействия СК «Каскад» инв. № 1220/О (2019) и материалов отчёта по Экологической безопасности НИТИ за 2018 год.

Отбор проб воды и измерение гамма-фона на водозаборном канале НИТИ

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

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

В.А. Беляков, А.Ю. Волков

Отдел метрологических исследований ОМИ (метрологическая служба МС) является основным подразделением, выполняющим работы по метрологическому обеспечению (МО) исследований и испытаний на стендовых комплексах (СК) института (стендах-прототипах ЯЭУ), контролю за состоянием и применением средств измерений (СИ) и измерительных каналов (ИК) технологических и информационно-измерительных систем. От точности и достоверности получаемой от СИ (ИК) информации зависит эффективность и качество проводимых научных исследований, оптимальность алгоритмов управления технологическими системами, безопасность эксплуатации ЯЭУ. Подтверждение пригодности к эксплуатации СИ и ИК измерительных систем путем поверки (калибровки) является одной из основных задач метрологического обеспечения.

В 2018 году подтверждена метрологическая пригодность 12 339 ед. СИ (поверка, калибровка), из них в организациях Росстандарта поверено 1 246 ед. СИ. Аттестовано в качестве эталонов единиц величин 25 СИ, применяемых в области использования атомной энергии для поверки (калибровки) рабочих СИ. Осуществлен входной контроль (верификация) и постановка на метрологический учёт 341 ед. СИ, проведены работы по метрологическому контролю, экспертизе, рассмотрению и согласованию 129 экз. научно-технической документации, оказаны консультации при выборе и приобретении средств измерений по заявкам и техническим заданиям подразделений института на закупку СИ.

В объёме подготовки СИ и ИК технологических систем СК здания 160 к очередному этапу испытаний, выполнены важные и ответственные работы по метрологическому обеспечению разработанных в НИТИ для управляющей системы безопасности штатных трёхканальных расходомеров питательной воды «Дроссель-1ПН-МК» и ПРТП-489-АПЛ. Проведена периодическая поверка в рабочих условиях эксплуатации расходомера «Дроссель-1ПН-МК», подтвердившая его пригодность к дальнейшей эксплуатации. Разработан новый метод периодической поверки расходомера ПРТП-489-АПЛ, основанный на поэлементной поверке комплектующих турбинных преобразователей ТПРГ2-10 и вторичного измерительного преобразователя ИПЧ-3 с последующим расчётом погрешности изме-

рений ИК расходомера. Необходимость в новом методе поверки возникла из-за отсутствия возможности демонтажа вварного первичного преобразователя для выполнения поверки расходомера методом проливки на стенде ЭРС, как предусмотрено методикой поверки с периодичностью один раз в пять лет. Для внесения изменений в методику поверки, утвержденную ФГБУ «ГНМЦ» МО РФ, проводившего испытания в целях утверждения типа расходомера, в его адрес направлены материалы с обоснованием возможности и целесообразности корректировки методики. Проведены работы по проверке работоспособности турбинных преобразователей ТПРГ2-10 расходомера ПРТП-489-АПЛ на трубопроводе малых расходов (ТМР) по разработанной программе и методике и определению погрешности преобразователя ИПЧ-3 с основным комплектом блоков преобразования частоты БПЧ и комплектом БПЧ (ЗИП). Подтверждена пригодность ТПРГ2-10 и ИПЧ-3 к дальнейшей эксплуатации в составе расходомера. Подготовлена и опубликована статья с результатами анализа работы ПРТП-489-АПЛ и «Дроссель-1ПН-МК» на предшествующих этапах испытаний СК.

По служебным запискам эксплуатирующего подразделения и других подразделений института, выполнен большой объём дополнительных работ по метрологическому обслуживанию и диагностике технического состояния СИ (ИК) СК, в том числе по поверке (калибровке) СИ (ИК), разработке программ и методик исследований, проведению пусконаладочных и других работ, важных для безопасной эксплуатации СК.

Осуществлен комплекс пусконаладочных работ по подстройке «нулей» и диапазонов измерений с последующей поверкой на месте эксплуатации 228 ед. штатных датчиков абсолютного давления 44ДА и датчиков разности давления 44ДД.

Выполнены проверки работоспособности и определение действительных значений метрологических характеристик в рабочих условиях эксплуатации 553 ИК системы управления техническими средствами (СУ ТС СК).

Осуществлена периодическая поверка на месте эксплуатации 176 ед. ротаметров типа РМ-2,5 ГУЗ и РМ-4,0 ГУЗ автоматизированной системы радиационного контроля (АСРК) с использованием переносной эталонной поверочной установки типа СПУ-3-16.

Разработана методика калибровки, установлен комплекс нормируемых характеристик в рабочих условиях эксплуатации и подтверждена метрологическая пригодность 330 ИК измерительно-вычислительного комплекса ИВК «АНИС-В3». Проанализированы в рамках действующего законодательства в области обеспечения единства измерений варианты метрологического обслуживания расходомерных диафрагм ДКС, закупленных взамен выработавших ресурс изделий. Определен и предложен наиболее оптимальный по трудозатратам вид метрологического обслуживания диафрагм в процессе эксплуатации. Выполнены работы по постановке на метрологический учёт и проведению калибровки 22 ед. ДКС.

Проведены внеплановые поверки в лабораторных условиях 132 ед. СИ (измерительных преобразователей модульных ИПМ 0399/М3, блоков извлечения корня БИК 36М, блоков БППС 4090А и др.). Осуществлена поверка 6 штатных комплексов измерения температуры ПКТ с 28 преобразователями (кассетами) типа МИПТ и МИПС. Произведены пусконаладочные работы по перенастройке преобразователя уровня буйкового в соответствии с заданной массой буйка. Отработаны процедуры бездемонтажной диагностики метрологических характеристик расходомеров СК с помощью ультразвукового расходомера с накладными датчиками типа «Flexim». Проверена работоспособность 49 ед. устройств терморегулирую-

щих «ТУДЭ» систем вентиляции зд. 160. Предложены и реализованы рекомендации ОМИ по минимизации погрешностей измерения ИК трёхканального расходомерного измерительного комплекса системы СПАР.

Выполнены работы по метрологическому контролю за состоянием и применением 112 ИК расходомерных измерительных комплексов технологических систем СК в соответствии с требованиями ГОСТ 8.586.1, 2, 3, 4, 5-2005, РД 50-411-83, ГОСТ Р 8.899-2015.

В рамках организации испытаний СПГ выполнен комплекс работ по подготовке к проведению повторной аттестации стенда ВХГР, поверке 21 измерительного канала и определению действительных метрологических характеристик 28 индикаторных каналов системы контроля, управления и регистрации (СКУиР), входящей в состав испытательного стенда.

Принято участие в работе комиссии по периодической аттестации аппаратуры контрольно-испытательной блока реакторного КИА БР в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 0008-002-2013, СТО 3.130-2016, ГОСТ РВ 8.570-98 и «Программой и методикой первичной (периодической) аттестации аппаратуры КИА БР». Выданы рекомендации по устранению выявленных несоответствий характеристик аппаратуры установленным требованиям.

Разработана программа и методика исследований гидравлических характеристик специально изготовленного фильтра-контейнера, предназначенного для проведения дезактивационных работ на СК. Осуществлены его исследования по разработанной программе и методике.

Совместно с эксплуатирующим подразделением осуществлена доработка устройства нагрева воды высокой чистоты (ВВЧ), модернизация стойки аппаратуры трубопровода малых расходов и проверка обеспечения режимов работы ТМР при температуре ВВЧ, равной 60 °С по программе и методике, разработанной ОМИ.

Выполнены исследования и оценка метрологических характеристик калибратора реактивности цифрового КРЦ-1М, проведена его калибровка по разработанной ОМИ методике и аттестация в качестве эталона для поверки реактиметров ПВР-7, ПВР-7М и аппаратуры измерения скорости счета импульсов тока АИССЧИТ. Осуществлено сопровождение работ с ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» по испытаниям калибратора в целях утверждения типа в части разработки и согласования программы и методики испытаний, проекта методики поверки, описания типа, эксплуатационной документации. Проведены консультации по процедурам испытаний в области использования атомной энергии.

Осуществлены работы по постановке на метрологический учёт, оформлению метрологических паспортов, определению причин выхода из строя СИ, оформлению актов технического состояния, снятию с метрологического учёта, ремонту и первичной поверке после ремонта 91 ед. СИ.

В соответствии с Федеральным законом 412-ФЗ, выездной комиссией Росаккредитации подтверждена компетентность института в области обеспечения единства измерений для выполнения работ по поверке СИ с расширением области аккредитации.

В течение 2018 года разработаны важные организационно-распорядительные документы по метрологическому обеспечению проводимых в институте работ, в том числе стандарты организации СТО 40-2018 «СМК. Внутренний метрологический надзор», Положение № МС-18-111 «Об организации и порядке проведения метрологической экспертизы». С целью оптимизации трудоемкостей работ, выполняемых ОМИ в рамках ГОЗ, разработаны нормы времени № МС-18-77, вошедшие в стандарт организации СТО 34-2018.

РОСАККРЕДИТАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО АККРЕДИТАЦИИ № 0009757

АТТЕСТАТ АККРЕДИТАЦИИ

№ РОСС СОБ 3.00083.2013 выдан 11 мая 2017 г.
номер аттестата аккредитации и дата выдачи

Настоящий аттестат выдан Федеральному государственному унитарному предприятию «Научно-исследовательский технологический институт имени А.П. Александрова»; ИНН 4714000067
наименование и ИНН (СНИЛС) заявителя
188540, РОССИЯ, Ленинградская обл., г. Сосновый Бор, Копорское ш., 72
место нахождения (место жительства) заявителя

и удостоверяет, что Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский технологический институт имени А.П. Александрова»
наименование
188540, РОССИЯ, Ленинградская обл., г. Сосновый Бор, Копорское ш., 72
адрес места (мест) осуществления деятельности

соответствует требованиям ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009

аккредитован(о) в области обеспечения единства измерений для выполнения работ и (или) оказания услуг по поверке средств измерений;

в соответствии с областью аккредитации, область аккредитации определена в приложении к настоящему аттестату и является неотъемлемой частью аттестата.

Дата внесения сведений в реестр аккредитованных лиц 21 марта 2017 г.
(Дата внесения в реестр сведений об аккредитованном лице)

М.П.

Руководитель (заместитель Руководителя) Федеральной службы по аккредитации — подпись — А.И. Херсонцев
инициалы, фамилия

В целях реализации Положения о системе калибровки в области использования атомной энергии установлены требования к проведению калибровки СИ института, разработан стандарт организации СТО 35-2018 «Калибровка СИ. Требования к организации, содержанию и порядку проведения» и проведена подготовка специалистов ОМИ на курсах повышения квалификации в учебном учреждении Росатома по курсу «Калибровка в области использования атомной энергии».

Комиссией «Росатома» проведена плановая проверка МС в части состояния и применения средств измерений, эталонов единиц величин, методик (методов) измерений, испытаний и контроля, стандартных образцов, аттестованных объектов, испытательного оборудования, стандартных справочных данных, средств допускового контроля, соблюдения метрологических правил и норм в подразделениях института. Проверка осуществлена в соответствии с требованиями «Положения о метрологическом обеспечении в атомной отрасли». Отмечено удовлетворительное состояние и применение средств измерений, соблюдения метрологических правил и норм на предприятии.

По инициативе МС проведены дополнительные работы (проверки) по оценке состояния измерений и аттестации в испытательных лабораториях ОНФИ и ОТФИ. Проверки осуществлены головной организацией метрологической службы (ГОМС) ядерного оружейного комплекса ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ-НИО-30» при непосредственном участии специалистов отдела. Головной организацией выданы свидетельства №№ 95.0359-2018, 95.0358-2018 о соответствии состояния измерений в лабораториях ОТФИ и ОХТИ требованиям ГСИ.

Специалисты ОМИ приняли активное участие в ежегодном конкурсе научных и инженерных работ института. Представленная на конкурс работа «Разработка расходомеров питательной воды» заняла призовое (второе) место. Авторы награждены именными дипломами.

При участии подразделений ОКЭЭР и ОДИ проводились работы по метрологическому обеспечению испытаний на стенде КВ-1 в соответствии с «Годовым планом испытаний и проведения исследовательских работ на стенде КВ-1 в 2018 году».

В кратчайшие сроки специалистами отдела выполнены сложные и ответственные работы по восстановлению работоспособности мостового крана зд. 103 грузоподъемностью 120/24 т. Осуществлен срочный ремонт двух блоков тиристорных преобразователей АТРК (блоков управления подъемов и передвижения крана). До полного завершения ремонта была обеспечена возможность работы на кране по временно восстановленной схеме питания контроллера.

Принято участие в работах по метрологическому сопровождению создания новой ЯЭУ в части контроля выбора средств измерений, соблюдения метрологических правил и норм при создании СК.

7. ИССЛЕДОВАНИЯ ТЯЖЁЛЫХ АВАРИЙ

7.1 Исследование особенностей существования двухжидкосной структуры ванны расплава кориума с коркой между лёгким металлом и субокисленным расплавом состава С-30

7. 2 Исследование особенностей существования трёхжидкостной структуры ванны субокисленного расплава кориума с минимальной температурой расплава лёгкого металла на поверхности корки

7.3 Исследование кинетики окисления трёхслойной структуры ванны субокисленного расплава кориума с поверхностной коркой и наплавленным на ней слоем металла

7.4 Исследование фазовых равновесий в системе U-Zr-Fe-O для термодинамического моделирования состояний топливных осколков и продуктов деления в многокомпонентных системах расплава кориума на разных стадиях тяжёлой аварии АЭС Фукусима-Дайити

7. ИССЛЕДОВАНИЯ ТЯЖЁЛЫХ АВАРИЙ

В 2018 году в отделе исследований тяжёлых аварий (ОИТА) ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» на установках экспериментального комплекса «Расплав», использующих для приготовления расплава технологию индукционной плавки в холодном тигле, продолжено исследование процессов, протекающих на различных стадиях тяжелых аварий АЭС.

Продолжены исследования по программе CORDEB2 (контракт НИТИ – IRSN-Франция). В рамках выполнения задач CP4 и CP5 проведены следующие эксперименты:

- Исследование особенностей существования двухслойной и трёхслойной структуры ванны субокисленного расплава кориума с минимальной температурой расплава легкого металла на поверхности корки.
- Исследование кинетики окисления трёхслойной структуры ванны субокисленного расплава кориума с поверхностной коркой и наплавленным на ней слоем металла.

В рамках работы по проекту АЯЭ/ОЭСР TCOFF (Термодинамическое описание топливных осколков и продуктов деления на основе анализа сценария развития тяжёлой аварии на АЭС Фукусима-Дайити) проведена серия экспериментов, ориентированных на исследование фазовых равновесий в системе U-Zr-Fe-O. Экспериментальные результаты будут использованы для термодинамического моделирования состояния расплава кориума на разных стадиях тяжёлой аварии.

Ниже кратко изложены основные результаты исследований, проведённых ОИТА в 2018 году.

7.1 Исследование особенностей существования двухжидкосной структуры ванны расплава кориума с коркой между легким металлом и субокисленным расплавом состава С-30

В.Б. Хабенский, В.И. Альмяшев, Е.В. Крушинов, С.А. Витоль, А.А. Сулацкий, С.Ю. Котова, Е.К. Каляго, Е.В. Шевченко

Работа проведена в рамках контракта между НИТИ и IRSN (Франция) по программе CORDEB2.

Ранее по программе CORDEB в опытах CD1, выполненных на установке «Расплав-3»

экспериментального комплекса «Расплав», было проведено исследование трансформации трёхжидкостной структуры ванны расплава субокисленного кориума с индексом окисленности С-30. Было обнаружено, что в атмосфере Ar при образовании оксидной корки на поверхности двухжидкостной оксидно-металлической ванны расплава с донным расположением металлического слоя, дальнейшее поступление стали на корку и ее плавление приводит к образованию трёхжидкостной структуры: «донный слой тяжёлого металла – расплав оксидов – оксидная корка – расплав легкого металла», которая сохраняется в течение длительного времени.

Для выяснения особенностей перераспределения компонентов между ванной расплава кориума и расплавом стали через разделяющую их оксидную корку, в рамках задачи 4 проекта CORDEB2 было предложено проведение следующего эксперимента:

- Исследование особенностей существования двухслойной структуры ванны расплава кориума с коркой между лёгким металлом и субокисленным расплавом состава С 30.
- Исследование перераспределения компонентов в ванне расплава между сосуществующими слоями в термоградиентных условиях.

Эксперимент СР4-01 проводили на установке «Расплав-3» с высокочастотным генератором мощностью 100 кВт и частотой тока 120 кГц.

Схема индукционной печи с холодным тиглем представлена на *рисунке 1*.

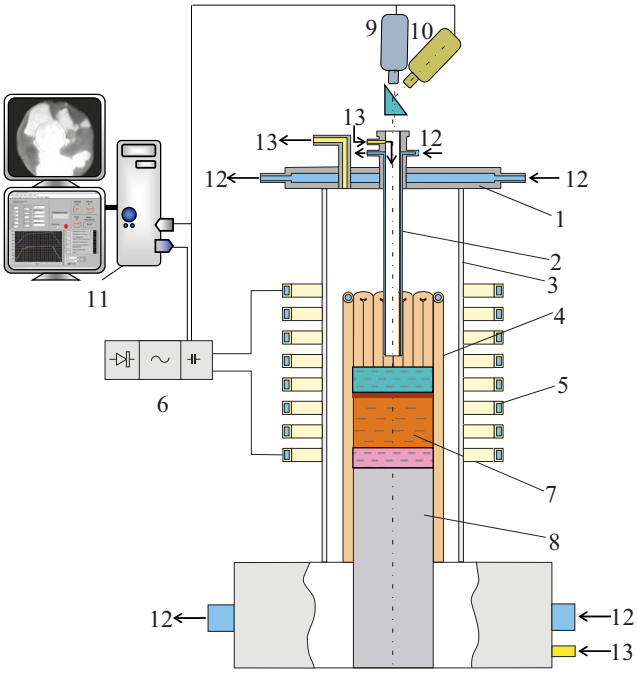


Рисунок 1 – Схема индукционной печи с холодным тиглем:

1 – водоохлаждаемая крышка; 2 – шахта наблюдения за поверхностью расплава; 3 – кварцевая обечайка; 4 – трубки секций «холодного» тигля; 5 – индуктор; 6 – высокочастотный генератор; 7 – ванна расплава; 8 – донный калориметр; 9 – пирометр; 10 – видеокамера; 11 – система управления и записи наблюдений; 12 – вход и выход охлаждающей воды; 13 – вход и выход газа.

Состав загрузки тигля в эксперименте CP4-01 представлял собой кориум с индексом окисленности C-30 и атомным соотношением U/Zr=1,2. В эксперименте в процессе формирования ванны, оксидной корки и времени выдержки легкого металла (LM) на поверхности оксидной корки использовали сухой аргон высокой чистоты. Время выдержки легкого металла на оксидной корке в эксперименте CP4-01 составило 7 часов.

На *рисунке 2* представлен фрагмент термограммы эксперимента CP4-01.

Осевой разрез слитка после опыта представлен на *рисунке 3*.

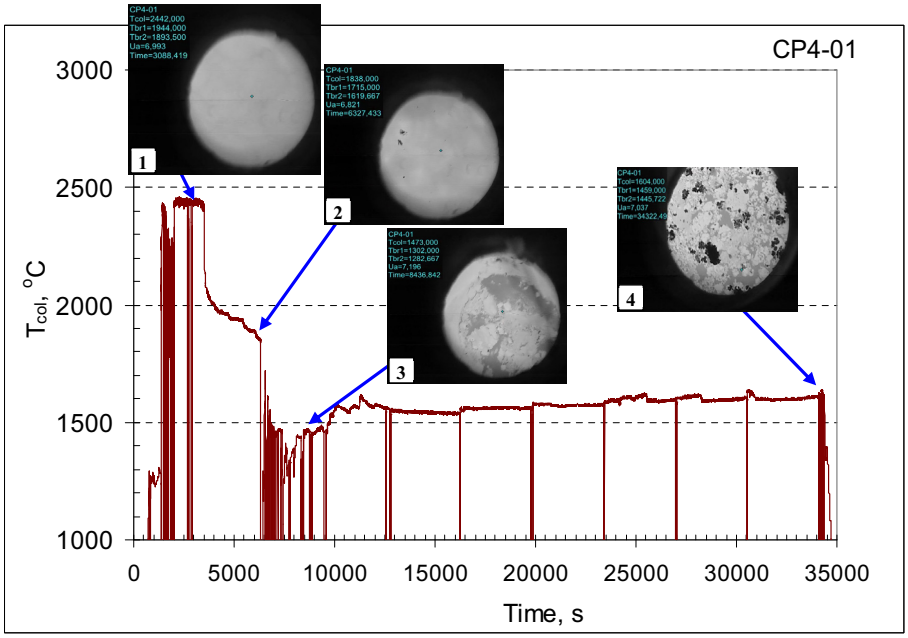


Рисунок 2 – Фрагмент термограммы эксперимента CP4-01:

1 – поверхность ванны расплава перед началом формирования корки, 2 – поверхность оксидной корки перед введением стали, 3 – поверхность металлического расплава после введения 10-й порции стали, 4 – поверхность металлического расплава перед отключением нагрева.

Рисунок 3 – Осевой разрез оксидно-металлического слитка из эксперимента CP4-01

Анализ разреза свидетельствует о том, что в процессе выдержки произошла трансформация двухслойной структуры ванны расплава в трёхслойную. На разрезе можно выделить несколько слоев металла, которые в процессе опыта находились в жидком состоянии: верхний металлический слой (лёгкий металл – LM), расположенный над оксидной коркой, слой тяжелого металла (HM) в донной части слитка, а также включения тяжелого металла, в закристаллизованном оксидном слитке.

После проведения эксперимента была выполнена идентификация фазового и интегрального состава характерных областей слитков различными методами (рентгенофлуоресцентный анализ – РСФА, химический анализ – ХА, сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ – СЭМ/РСМА).

Основные результаты:

1. Результаты эксперимента CP4-01 позволяют сделать заключение о том, что в двухжидкостной ванне субокисленного расплава (C-30) наблюдается интенсивный перенос компонентов расплава через корку. При этом результаты РСМА и РСФА проб LM, закристаллизованных слоев LM и HM (образовавшегося в результате переноса компонентов LM под корку) свидетельствуют о том, что в термоградиентных условиях перераспределение компонентов происходило достаточно быстро в первые часы эксперимента, а после пяти часов выдержки вышло на режим медленного приближения к стационарному состоянию, в котором элементный состав сосуществующих слоев практически не менялся.
2. Сопоставление результатов CP4-01 и результатов проекта MASCA позволяет сделать заключение, что, в реализованных в этом эксперименте условиях термоградиентность не оказывает заметного влияния на распределение компонентов между оксидной и металлическими частями ванны расплава.

7.2 Исследование особенностей существования трёхжидкостной структуры ванны субокисленного расплава кориума с минимальной температурой расплава легкого металла на поверхности корки

В.Б. Хабенский, В.И Альмяшев, Е.В. Крушинов, С.Ю. Котова, В.Р. Булыгин

Работа проведена в рамках контракта между НИТИ и IRSN (Франция) по программе CORDEB2.

Эксперимент CP4-02 проводили на установке «Расплав-3» с высокочастотным генератором мощностью 100 кВт и частотой тока 120 кГц. Основной задачей в эксперименте CP4-02 было удержание низкой температуры расплава нержавеющей стали на поверхности корки.

Схема индукционной печи с холодным тиглем представлена на *рисунке 1*.

Состав загрузки тигля в опыте CP4-02 представлял собой кориум с индексом окисленности C-30 и атомным соотношением U/Zr=1,2. В эксперименте в процессе формирования ванны, оксидной корки и времени выдержки легкого металла (LM) на поверхности оксидной корки использовали сухой аргон высокой чистоты. Время выдержки LM на оксидной корке в эксперименте CP4-02 составило 3 часа.

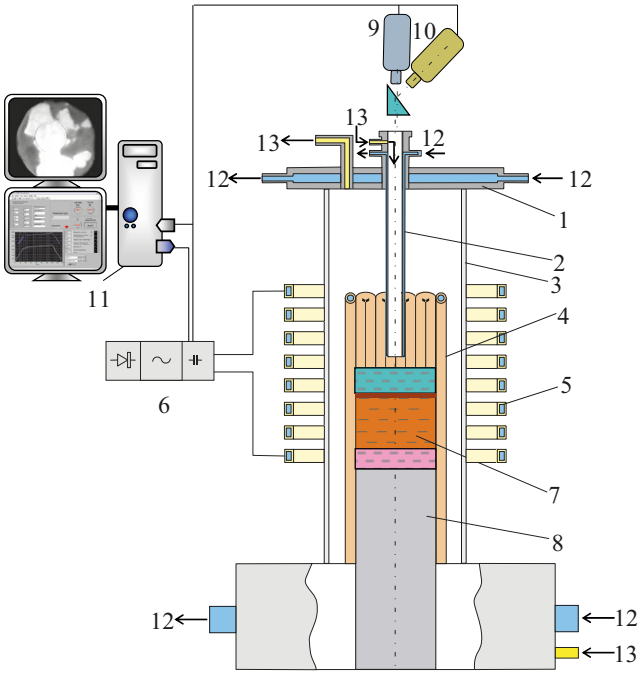


Рисунок 1 – Схема индукционной печи с холодным тиглем:
1 – водоохлаждаемая крышка; 2 – шахта наблюдения за поверхностью расплава; 3 – кварцевая обечайка; 4 – трубки секций «холодного» тигля; 5 – индуктор; 6 – высокочастотный генератор; 7 – ванна расплава; 8 – донный калориметр; 9 – пирометр; 10 – видеокамера; 11 – система управления и записи наблюдений; 12 – вход и выход охлаждающей воды; 13 – вход и выход газа.

На *рисунке 2* представлен фрагмент термограммы эксперимента CP4-02.

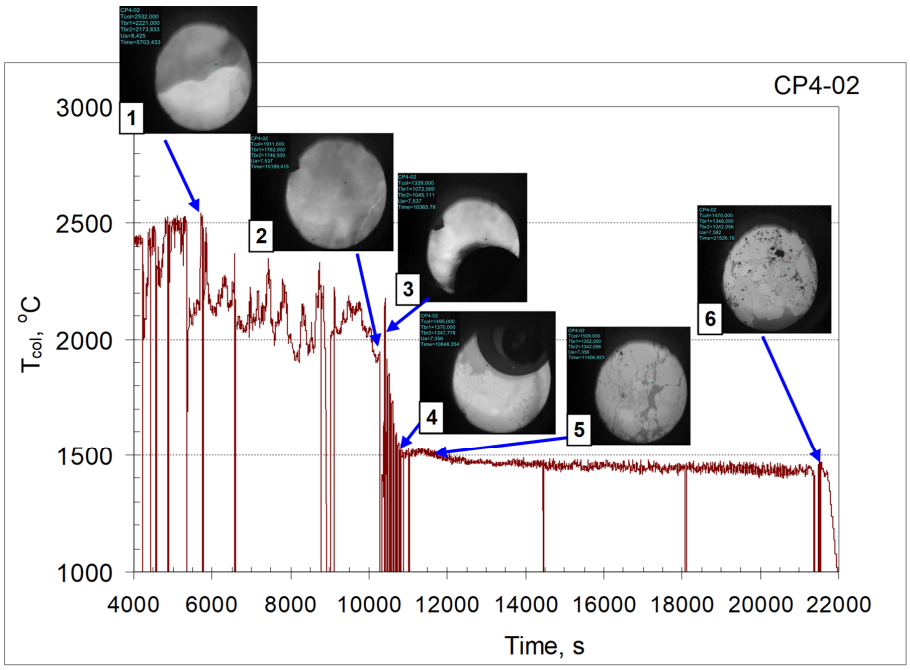


Рисунок 2 – Фрагмент термограммы эксперимента CP4-02:

1 – поверхность ванны расплава при введении в оксидный расплав нержавеющей стали; 2 – оксидная корка на поверхности расплава; 3– начало ввода стали на поверхность оксидной корки; 4 – ввод последней порции стали; 5 и 6 – пленка на поверхности стального расплава в начале и в конце выдержки.

Осевой разрез слитка после опыта представлен на *рисунке 3*. На разрезе можно выделить два слоя металла, которые в процессе эксперимента находились в жидком состоянии: верхний металлический слой (легкий металл – LM), расположенный над оксидной коркой, и слой тяжёлого металла – с большим содержанием урана и циркония (HM).

Рисунок 3 – Осевой разрез оксидно-металлического слитка эксперимента CP4-02

После окончания эксперимента различными методами (рентгенофлуоресцентный анализ – РСФА, химический анализ – ХА, сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ – СЭМ/РСМА) была выполнена идентификация фазового и интегрального состава характерных областей слитка и проанализирована их макро- и микроструктура.

Основные результаты

В соответствии с целью эксперимента CP4-02 основными результатами его являются качественные и количественные данные по влиянию температуры на трансформацию трёхжидкостной ванны расплава оксидно-металлического кориума. Первые эксперименты по изучению кинетики трансформации трёхжидкостной ванны расплава были выполнены в рамках Задачи 1 программы CORDEB. Определенное по результатам РСФА содержание урана и циркония в LM в экспериментах CD1-01 (1 час экспозиции) и CP4-02 (3 часа экспозиции) очень близко. Сопоставление полученных данных с результатами эксперимента CP4-01 позволяет сделать заключение о том, что при температуре, близкой к температуре плавления стали, в случае трёхжидкостной конфигурации ванны расплава, перераспределение элементов осуществляется с меньшей скоростью, по крайней мере, в течение первых 3 часов экспозиции.

7.3 Исследование кинетики окисления трёхслойной структуры ванны субокисленного расплава кориума с поверхностной коркой и наплавленным на ней слоем металла

В.Б. Хабенский, В.И Альмяшев, Е.В. Крушинов, С.А. Витоль, А.А. Сулацкий

Работа проведена в рамках контракта между НИТИ и IRSN (Франция) по программе CORDEB2.

Эксперимент CP5-01 проводили на установке «Расплав-3» с высокочастотным генератором мощностью 100 кВт и частотой тока 120 кГц. Схема индукционной печи с холодным тиглем представлена на *рисунке 1*.

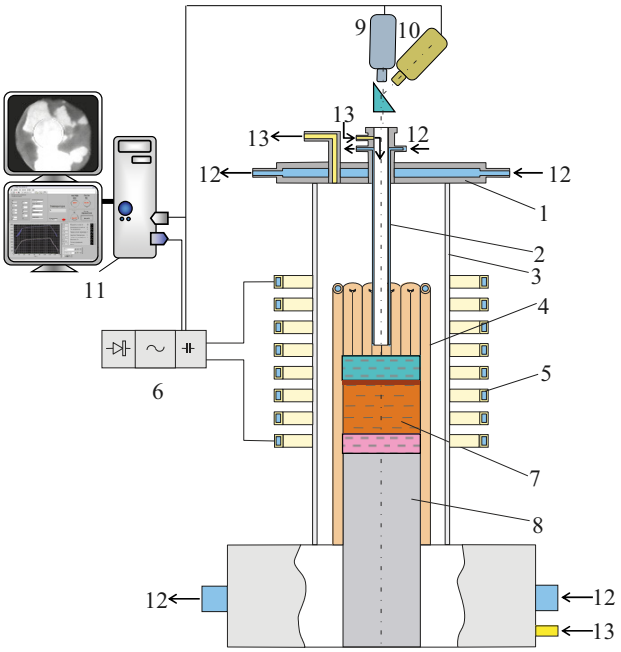


Рисунок 1 – Схема индукционной печи с холодным тиглем:
1 – водоохлаждаемая крышка; 2 – шахта наблюдения за поверхностью расплава; 3 – кварцевая обечайка; 4 – трубки секций «холодного» тигля; 5 – индуктор; 6 – высокочастотный генератор; 7 – ванна расплава; 8 – донный калориметр; 9 – пирометр; 10 – видеокамера; 11 – система управления и записи наблюдений; 12 – вход и выход охлаждающей воды; 13 – вход и выход газа.

Перед проведением эксперимента была собрана газоаэрозольная система представленная на *рисунке 2*.

В опыте CP5-01 дополнительно был подключен кислородный баллон для получения аргоно-кислородной смеси.

Состав загрузки тигля в эксперименте CP5-01 представлял собой кориум с индексом окисленности C-30 и атомным соотношением U/Zr=1,2. На стадии формирования ванны расплава и оксидной корки использовали сухой аргон высокой чистоты, а для окисления

расплава металла на оксидной корке – Ar/O_2 смесь с содержанием кислорода от 5 до 20 об.%. Время выдержки в режиме окисления составило 3 часа.

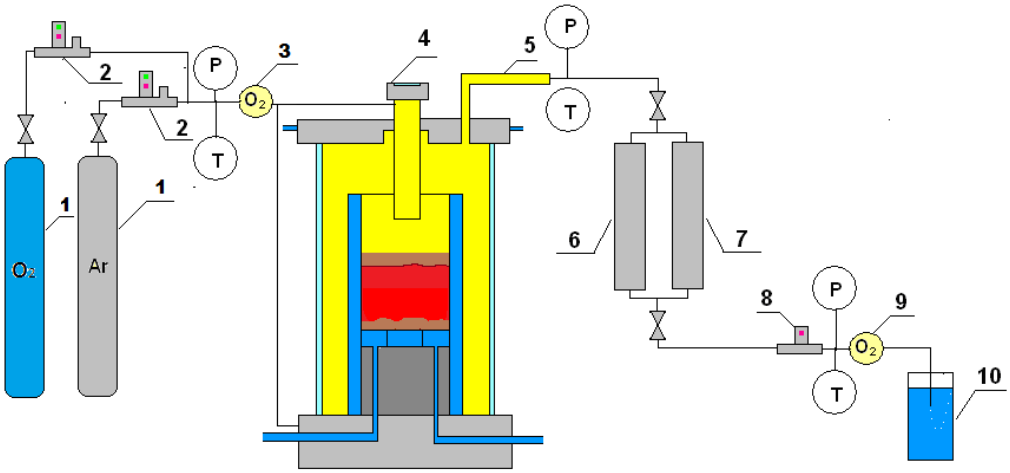


Рисунок 2 – Схема газоаэрозольной системы CP5-01

1 – Ar, O_2 баллоны; 2 – регуляторы/расходомеры бронхост; 3, 9 – датчики кислорода; 4 – шахта пирометра; 5 – газо-аэрозольная линия; 6, 7 – фильтры Петрянова; 8 – расходомер; 10 – барботер; P – датчики давления (Honeywell); T – термопары K-типа.

На *рисунке 3* представлен фрагмент термограммы эксперимента CP5-01.

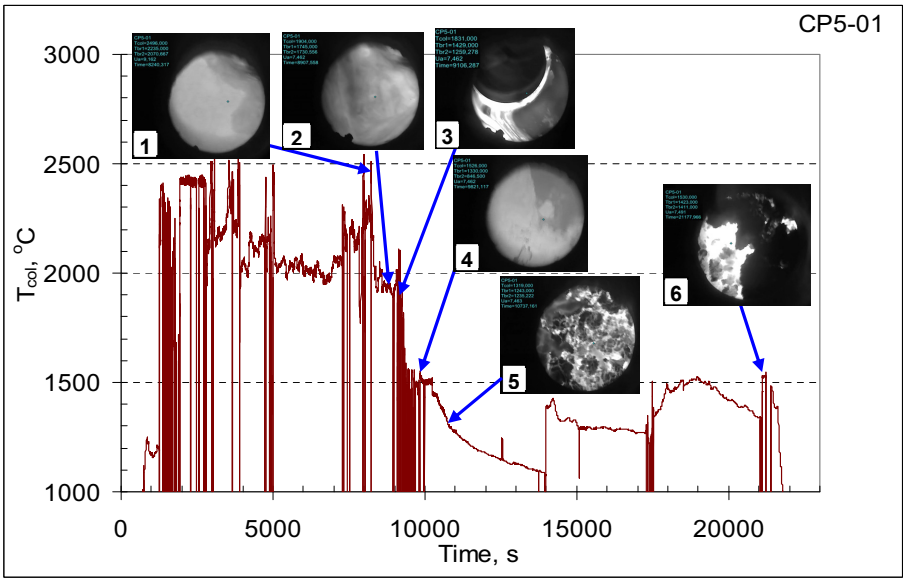


Рисунок 3 – Фрагмент термограммы эксперимента CP5-01:

1 – вид поверхности расплава, 2 – поверхность корки перед вводом стали, 3– начало ввода на корку нержавеющей стали, 4 – пленка на поверхности расплава стали перед началом окисления, 5 и 6 – вид поверхности стального расплава покрытого продуктами окисления в начале и в конце окисления.

Осевой разрез слитка после эксперимента представлен на рисунке 3. На разрезе можно выделить несколько слоев металла, которые в процессе опыта находились в жидком состоянии: верхний металлический слой (легкий металл – LM с включениями твёрдых продуктов окисления), расположенный над оксидной коркой, и слои тяжелого металла (HM1 и HM2).

После завершения эксперимента различными методами (рентгенофлуоресцентный анализ – РСФА, химический анализ – ХА, сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ – СЭМ/РСМА) была выполнена идентификация фазового и интегрального состава характерных областей слитка кориума и проанализирована их макро- и микроструктура.

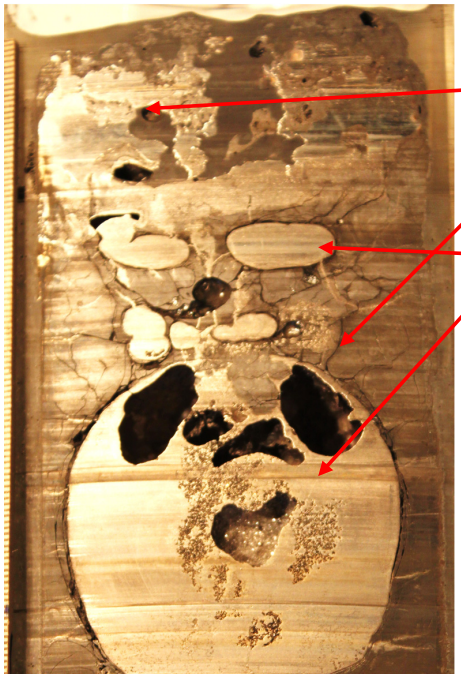


Рисунок 3 – Осевое сечение слитка в CP5-01

Характерной особенностью макроструктуры закристаллизованного слитка эксперимента CP5-01 является сильно неоднородная структура LM, которая перемежается оксидными включениями, значительный объём HM и большое количество металлических капель, закристаллизованных в оксидно-металлической части слитка. Следует отметить, что корка имеет четкую ровную границу с закристаллизованным расплавом и ее толщина в среднем составляет 7 мм. Данные РСМА позволяют заключить о высокой степени окисленности закристаллизованной оксидной части.

Основные результаты

1. В эксперименте CP5-01 было проведено исследование процесса окисления трёхжидкостной ванны расплава через поверхностный слой LM. Экспериментально определено, что скорость окисления через слой LM существенно меньше, чем скорость окисления оксидно-металлической ванны расплава через корку в отсутствие расплава LM на поверхности корки. При этом обнаружено постепенное снижение скорости поглощения кислорода расплавом.

2. В связи с тем, что корка на поверхности LM периодически разрушалась при проведении замеров толщины слоя LM, для подтверждения данных по кинетике окисления целесообразно проведение чистого эксперимента с сохранением структуры ванны и обеих корок. Следует подчеркнуть следующие особенности процесса окисления расплава кориума. Процесс окисления оксидно-металлического расплава при индексе окисленности системы С-30 происходит в режиме голодания по окислителю, характеризующемуся: а) отсутствием влияния на скорость поглощения кислорода концентрации восстановителей в расплаве и гидродинамики расплава, и б) влиянием на скорость окисления концентрации кислорода в газовой атмосфере над расплавом и гидродинамики газовой атмосферы. Возникновение на поверхности расплава оксидной корки приводит к резкому снижению скорости окисления расплава, из-за появления на пути переноса окислителя к расплаву дополнительного диффузионного сопротивления. Это еще более усугубляется процессом окисления восстановителей, находящихся в расплаве LM в трёхслойной структуре. При этом процесс переходит в стадию, контролируемую (лимитируемую) диффузией восстановителей именно через эту оксидную «промежуточную» корку, расположенную между LM и оксидно-металлической ванной. Полученные экспериментальные данные могут быть использованы для разработки модели окисления и верификации программного модуля расчёта кинетики окисления расплава.

7.4 Исследование фазовых равновесий в системе U-Zr-Fe-O для термодинамического моделирования состояний топливных осколков и продуктов деления в многокомпонентных системах расплава кориума на разных стадиях тяжёлой аварии АЭС Фукусима-Дайити

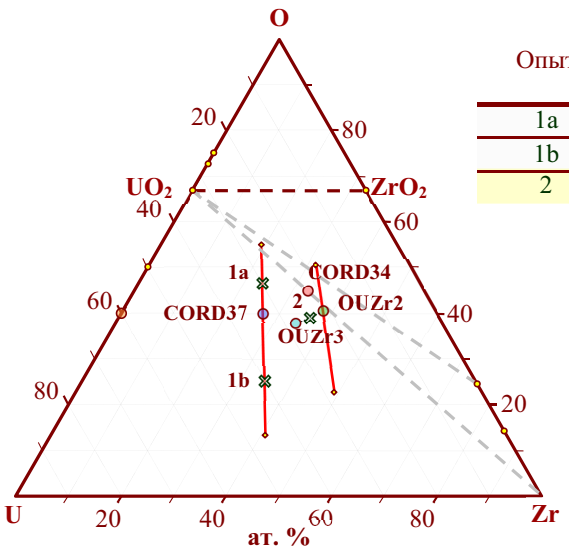
В.Б. Хабенский, В.И Альмяшев, Е.В. Крушинов, С.А. Витоль, С.Ю. Котова, Е.К. Каляго, Е.В. Шевченко

Работа проведена в рамках международного проекта АЯЭ/ОЭСР TCOFF (Термодинамическое описание топливных осколков и продуктов деления на основе анализа сценария развития тяжёлой аварии на АЭС Фукусима-Дайити) и является вкладом ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в проект.

Данные о фазовых равновесиях в системах U-Zr-O и U-Zr-Fe-O являются фундаментальной основой для анализа поведения расплава активной зоны на внутрикорпусной стадии протекания тяжёлой аварии. Экспериментальное исследование этих систем, особенно в области жидкофазного расслаивания, затрудняется высокой химической активностью образующегося двухфазного расплава. По этой причине число экспериментальных исследований фазовых равновесий в ней невелико.

В рамках контракта с АЯЭ/ОЭСР по проекту TCOFF было предложено провести серию экспериментальных исследований фазовых равновесий в системах U-Zr-O и U-Zr-Fe-O на установке «Расплав-3» для восполнения пробелов в данных по рассматриваемым системам и, как следствие, повышения точности их описания.

На *рисунке 1* представлена информация о выбранных составах для экспериментов *1* и *2*.



Матрица тестов

Опыт	Состав загрузки, ат. %		
	U	Zr	O
1a	30.0	23.0	47.0
1b	40.0	34.0	26.0
2	25.0	36.0	39.0

Рисунок 1 – Выбор составов в системе U-Zr-O

Состав для эксперимента *3* в системе U-Zr-Fe-O было предложено взять таким, чтобы, с одной стороны, он дополнял данные, полученные в проекте АЯЭ/ОЭСР MASCA (промежуточный индекс окисленности кориума), а с другой стороны, чтобы можно было новые данные сопоставить с корреляциями, полученными в проекте MASCA.

Всего в 2018 году было проведено четыре эксперимента: PET-01, 02, 03, 04, выполненных для определения фазовых соотношений во внутрикорпусном кориуме в концентрационной области, соответствующей характерному для реакторных установок катионному составу и концентрации кислорода.

Были измерены температуры ликвидус/монотектики, составы закристаллизованных фаз и сосуществующих жидкостей и проведены расчётные оценки с помощью термодинамического кода GEMINI на основе базы данных NUCLEA.

Матрица проведенных экспериментов представлена в *таблице 1*.

Таблица 1

Матрица экспериментов серии PET

Опыт	Состав загрузки, ат.%				Цель
	U	Zr	Fe	O	1. Определение температуры ликвидус/монотектики. 2. Определение конод в области расслаивания.
PET-01	30	23	23	–	
PET-03	30	23	23	–	
PET-02	25	36	36	–	
PET-04	19	15	15	13	

Исследования выполнили на установке «Расплав-3». Схема печи представлена на *рисунке 2*.

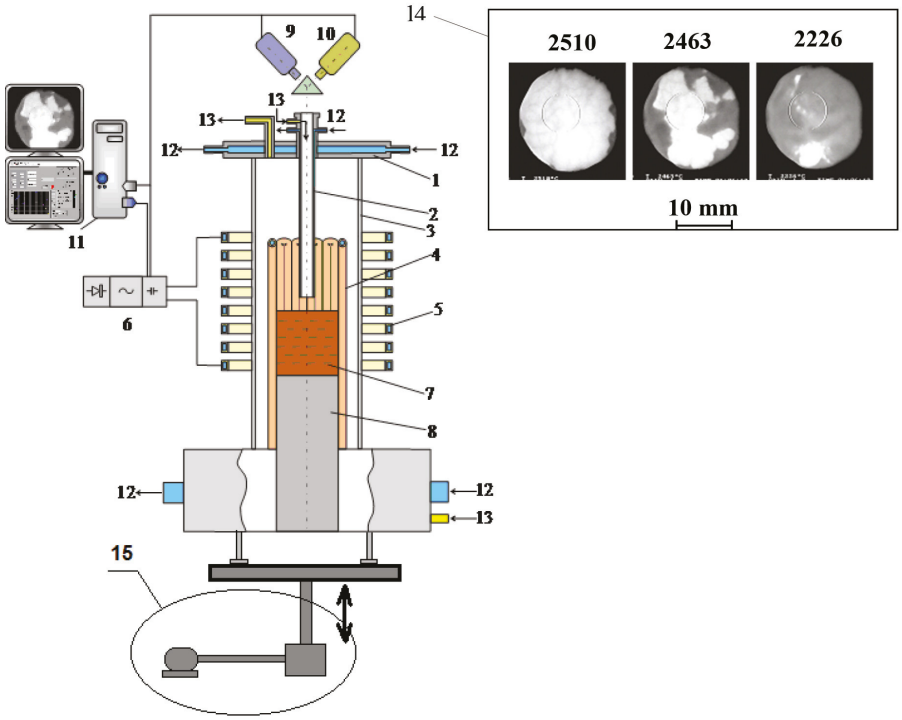


Рисунок 2 – Схема установки «Расплав-3»:

1 – водоохлаждаемая крышка; 2 – шахта наблюдения за поверхностью расплава; 3 – кварцевая обечайка; 4 – «холодный» тигель; 5 – индуктор; 6 – высокочастотный генератор; 7 – расплав; 8 – металлическое дно; 9 – пирометр спектрального отношения RAYTEK MR1-SC; 10 – видеокамера; 11 – система управления и записи наблюдений; 12 – вход и выход охлаждающей воды; 13 – вход и выход газа; 14 – вид поверхности расплава и образование твёрдой фазы в процессе охлаждения; 15 – устройство перемещения тигля.

При подготовке к экспериментам все компоненты шихты были проанализированы на содержание основного компонента, а в порошке диоксида урана термогравиметрическим методом было определено отношение кислорода к урану, которое составило 2,00.

Изменения регистрируемых параметров в тестах представлены на *рисунках 3–6*.

Во время экспериментов методом визуального политермического анализа (ВПА) проводили измерения температур ликвидус/монотектики. На *рисунке 7* в качестве примера представлены фрагменты термограмм с видеокадрами поверхности расплава в моменты измерений температуры ликвидус в экспериментах РЕТ-01 и РЕТ-03.

Осевые разрезы слитков, полученных в экспериментах серии РЕТ, представлены на *рисунке 8*.

Различными методами (рентгенофлуоресцентный анализ, химический анализ, сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ) были выполнены анализы образцов для определения элементного состава, идентификации фазового и интегрального состава характерных областей слитков и проанализирована их макро- и микроструктура.

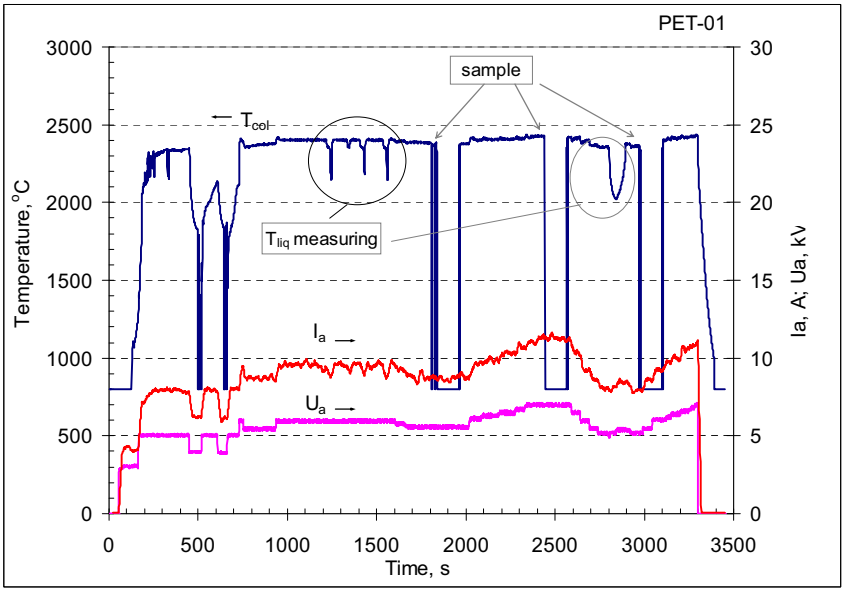


Рисунок 3 – Изменение во времени напряжения (U_a), анодного тока (I_a) и показаний пирометра (T_{col}) в эксперименте PET-01

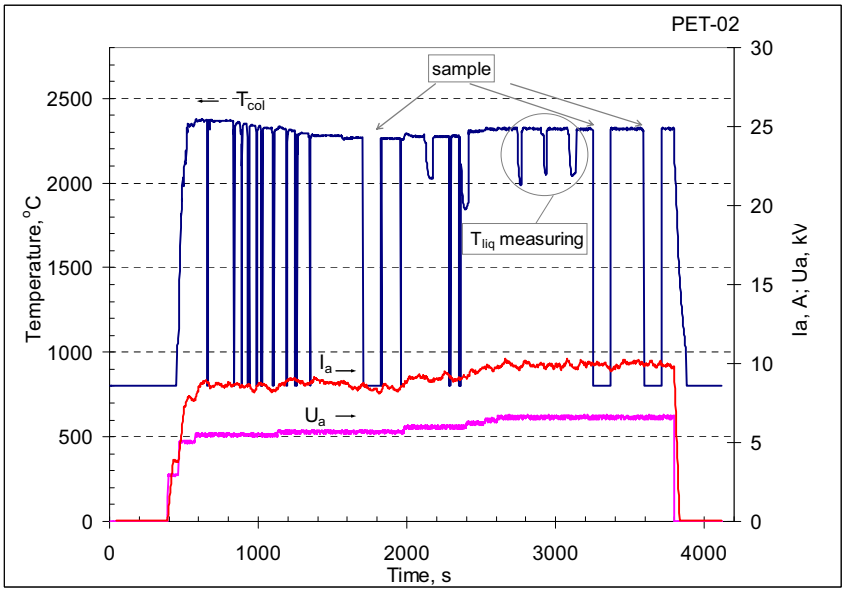


Рисунок 4 – Изменение во времени напряжения (U_a), анодного тока (I_a) и показаний пирометра (T_{col}) в эксперименте PET-02

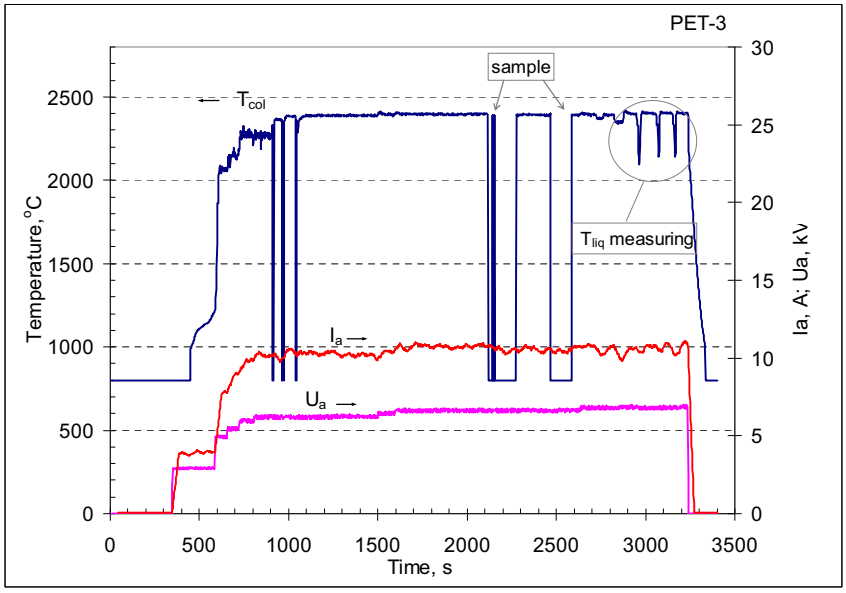


Рисунок 5 – Изменение во времени напряжения (U_a), анодного тока (I_a) и показаний пирометра (T_{col}) в эксперименте PET-03

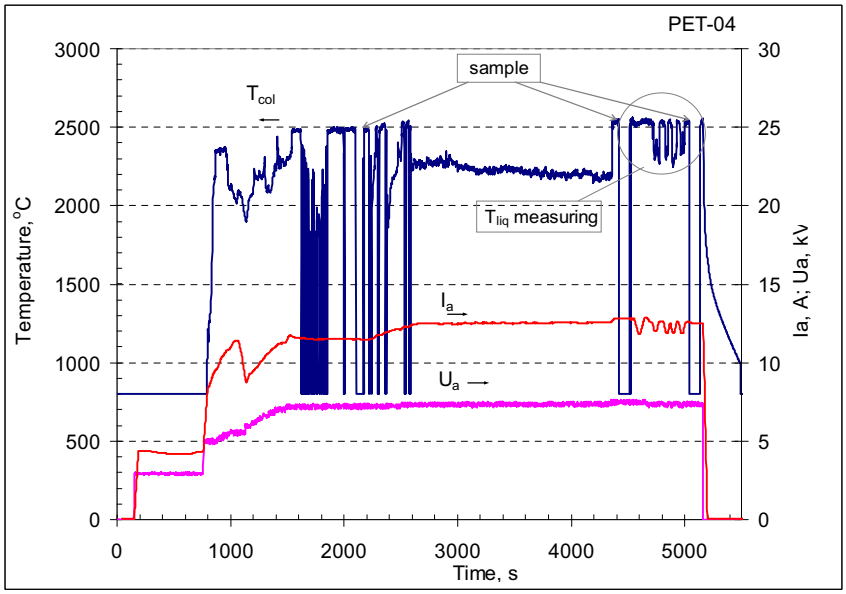
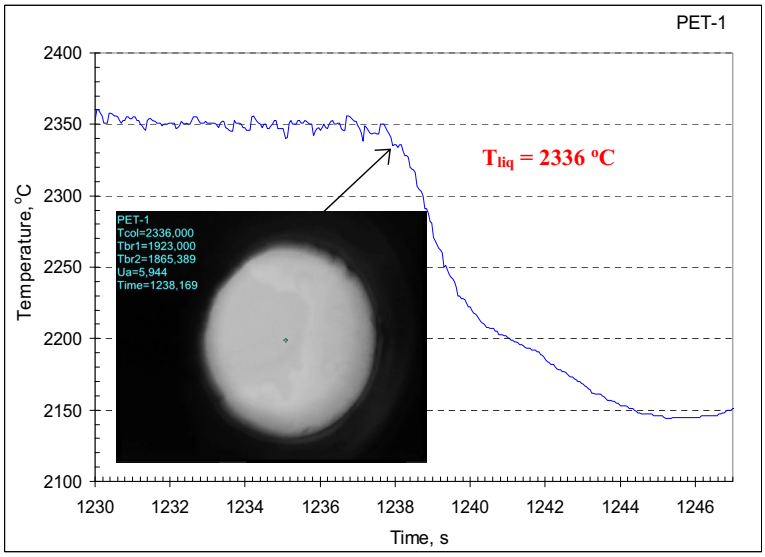
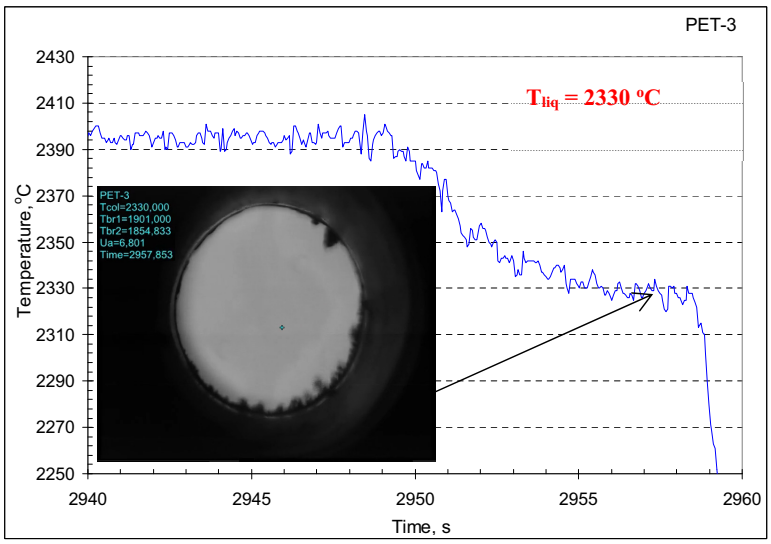


Рисунок 6 – Изменение во времени напряжения (U_a), анодного тока (I_a) и показаний пирометра (T_{col}) в эксперименте PET-04

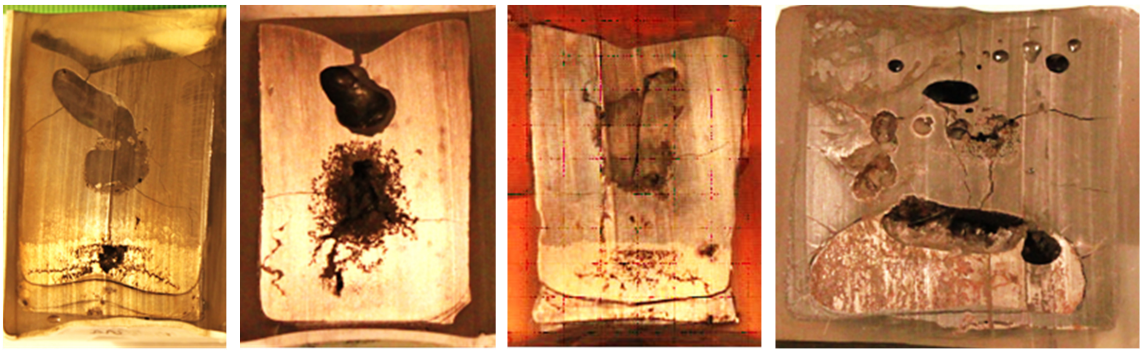


а)



б)

Рисунок 7 – Фрагменты термограмм PET-01 (а) и PET-03 (б) с видеокадрами поверхности расплава



PET-01 PET-02 PET-03 PET-04

Рисунок 8 – Вид осевых разрезов слитков экспериментов серии PET

Основные результаты

1. Полученные в тестах PET-01,03 результаты свидетельствуют о незначительном влиянии условий ИПХТ на фазовые равновесия в системе U-Zr-O, так как изменение соотношения жидких фаз мало сказалось на положении коноды. Измеренные в экспериментах PET-01, 03 температуры монотектики хорошо согласуются с расчётными оценками, проведенными с помощью термодинамического кода GEMINI на основе базы данных NUCLEA.
2. Отсутствие в тесте PET-02 макрорасслаивания и присутствие микрогетерогенных областей в пробе и в слитке свидетельствуют о том, что данный состав находится в непосредственной близости к границе области расслаивания
3. В тесте PET-04 металлическая фаза расположена в донной части слитка, в то время, как в опыте MA-2 (проект MASCA) основная часть металлической фазы занимала верхнее положение. Таким образом, отсутствие хрома и никеля привело к инверсии оксидного и металлического слоев.
4. Полученные в работе результаты (как экспериментальные, так и расчётные) могут быть использованы для уточнения моделей неравновесной солидификации расплавов. Уточненные модели, в свою очередь, могут быть применены для расчёта составов расплавленных жидкостей по составам закристаллизованных слитков.

Основные результаты работы докладывались:

по программе CORDEB2

– на 2-м ежегодном совещании по проекту IVMR, Алкмаар, Голландия, 22–23 июня 2017 года;
– на 1-м совещании по проекту CORDEB2, Санкт-Петербург, Россия, 19–21 сентября 2017 года;
– на третьем ежегодном совещании по проекту IVMR, ÚJV, Ржеж, Чешская Республика, 28–30 мая 2018 года;
– на 2-м совещании по проекту CORDEB2, Санкт-Петербург, Россия, 21–22 ноября 2018 года;

по программе TCOFF

– на 2-м совещании Правления проекта TCOFF, штаб-квартира АЯЭ/ОЭСР, Париж, Франция 15–17 января 2018 года;
– на 3-м совещании Правления проекта TCOFF, Токио, Япония, 30 июня – 6 июля 2018 года;
– на международном совещании с руководством проекта АЯЭ/ОЭСР TCOFF, ЛО СЗТО ФГУП «РосРАО», комплекс РАСПЛАВ, г. Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия, 23 мая 2018 года;
– на Всероссийской конференции с международным участием «Химия твердого тела и функциональные материалы» и 12-го Всероссийского симпозиума с международным участием «Термодинамика и материаловедение», ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия, 21–27 мая 2018 года;
– на 4-м совещании Правления проекта TCOFF, штаб-квартира АЯЭ/ОЭСР, Париж, Франция, 31 января – 1 февраля 2019 года.

8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ И ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Отдел радиационной безопасности

8.1 Проведение исследований в обеспечение повышения радиационной и экологической безопасности при эксплуатации транспортных ЯЭУ

Отдел по Чрезвычайным ситуациям

8.2 Направления деятельности отдела по Чрезвычайным Ситуациям

8.3 Основные мероприятия, проведённые в 2018 году по вопросам ГО

8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ И ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Отдел радиационной безопасности

В.Г. Ильин

В 2018 году в рамках ресурсных испытаний на стенде-прототипе транспортной ЯЭУ проводились исследования в целях повышения радиационной и экологической безопасности при эксплуатации ЯЭУ транспортного назначения. Исследования проводились по следующим направлениям.

1. Исследование радиационных параметров технологических сред и радиационной обстановки в помещениях стенда-прототипа транспортной ЯЭУ и разработка предложений по выбору методов и средств контроля состояния барьеров радиационной безопасности для перспективных систем радиационного контроля (РК), включая:
   - исследование спектральных характеристик гамма-нейтронных полей и зависимости уровней мощности доз гамма-нейтронных излучений за биологической защитой при различных режимах работы реакторной установки;
   - отработка методов и средств оперативного (аппаратурного) контроля оболочек твэлов;
   - отработка методов и средств контроля герметичности первого контура на основе измерения объёмной осколочной активности воздуха в подреакторном пространстве.

2. Испытания системы непрерывного аппаратурного технологического контроля герметичности парогенераторов (ПГ) в составе комплекса «КМК-1».

3. Анализ качественного и количественного состава радиоактивных отходов (РАО), выбросов и сбросов, образующихся при эксплуатации ЯЭУ и проведении ремонтных работ, включая:

– анализ качественного и количественного состава радиоактивных отходов (РАО);
– анализ источников газоаэрозольных выбросов и жидких сбросов, образующихся при эксплуатации ЯЭУ, их качественный и количественный состав.

4. Разработка базы данных инструментального контроля на основе автоматизированной регистрации данных радиационного контроля помещений с использованием переносных и носимых средств измерений.

8.1 Проведение исследований в обеспечение повышения радиационной и экологической безопасности при эксплуатации транспортных ЯЭУ

В.Г. Ильин, М.Н. Баев, О.Н. Саранча, А.Л. Митенков, Р.В. Червяков

В 2018 году при проведении ресурсных испытаний элементов активной зоны на стендвой ЯЭУ в обеспечение повышения радиационной и экологической безопасности при эксплуатации ЯЭУ проводились работы по отработке новых методов оперативного (беспробоотборного) контроля герметичности оболочек твэлов.

На основании анализа показаний датчиков температуры, установленных на оборудовании и арматуре системы компенсатора объёма первого контура (КО), датчиков уровня теплоносителя первого первого контура в КО было определено, что в системе КО есть участки, в которые на стационарных режимах работы реакторной установки (РУ) квазинепрерывно из реакторной установки поступает теплоноситель первого контура. На основании этого было принято решение об организации контроля этих участков гамма-спектрометром высокого разрешения через коллиматор в виде «глухой» проходки в биологической защите.

На основании технического решения [1] в соответствии с разработанной конструкторской документацией [2] на стендовой ЯЭУ было смонтировано оборудование макетного образца спектрометрического канала для оперативного измерения активности реперных радионуклидов в контролируемой среде КО и проведены его испытания.

Испытания канала проводились при работе РУ в режимах, при которых невозможен штатный оперативный аппаратурный контроль состояния активной зоны, т.к. циркуляция через байпасные линии блока очистки и расхолаживания (БОиР) отсутствует.

В течение длительного (более месяца) времени спектрометром в непрерывном автоматическом режиме измерялась объёмная активность основных радионуклидов – продуктов деления в контуре, в том числе короткоживущих, оперативно отражающих состояние элементов активной зоны.

Полученные результаты измерений для ряда выбранных реперных радионуклидов – продуктов деления (I-134, Cs-138, Xe-138, Rb-89) представлены на рисунках 1–4.

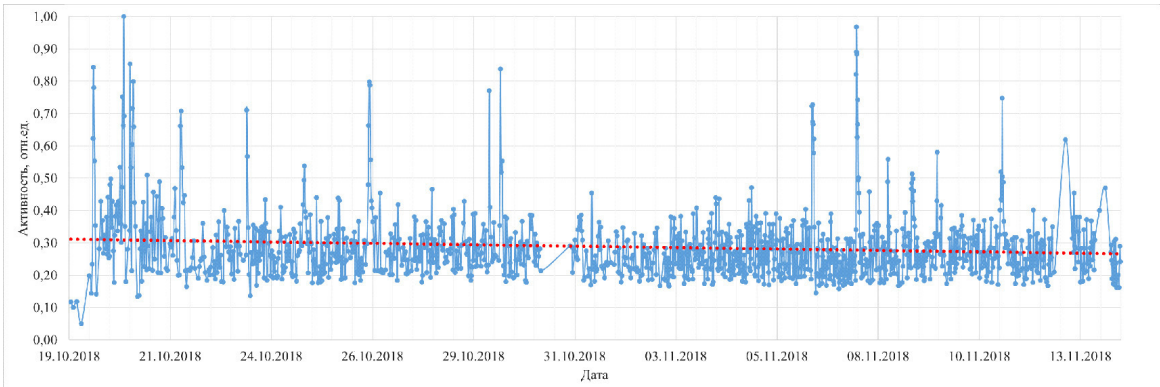


Рисунок 1– Изменение уровня активности I-134

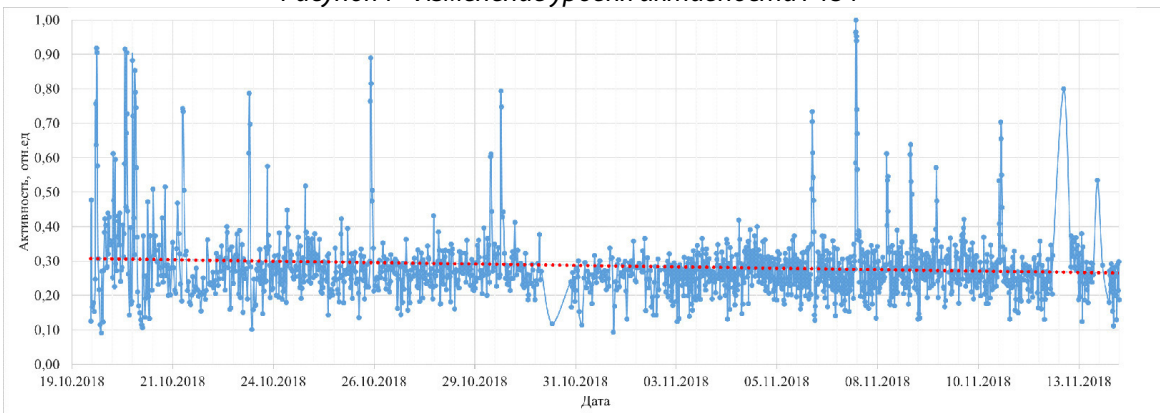


Рисунок 2 – Изменение уровня активности Cs-138

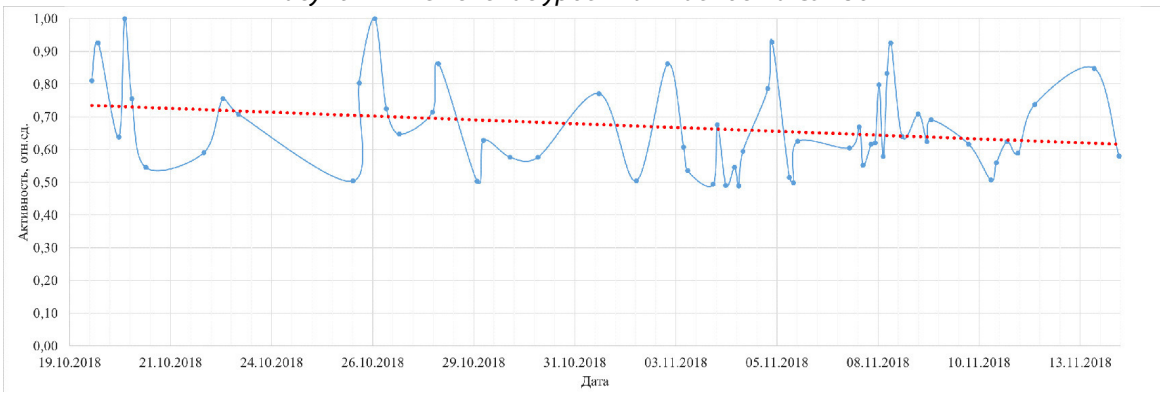


Рисунок 3 – Изменение уровня активности Xe-138

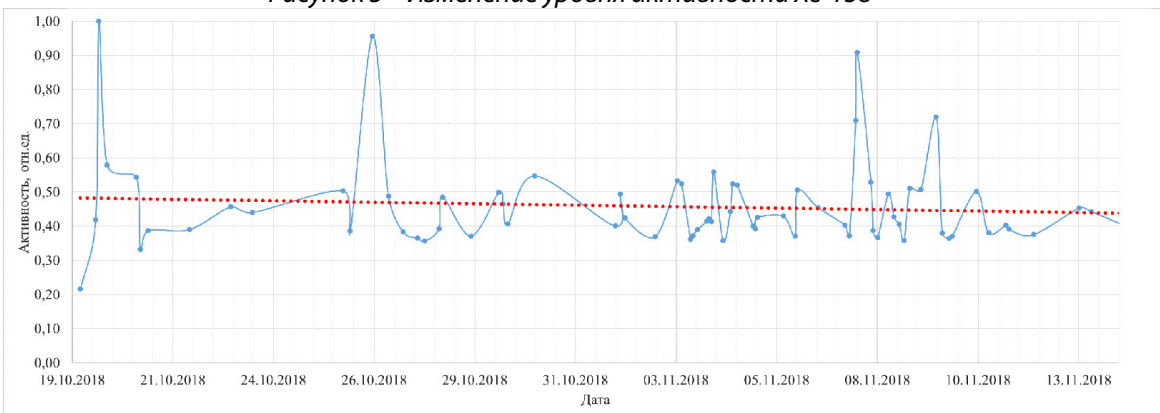


Рисунок 4 – Изменение уровня активности Rb-89

Выводы

1. На основании полученных данных можно утверждать:

- о достаточном (значимом) поступлении из реакторной установки теплоносителя первого контура в систему КО, по регистрации короткоживущих продуктов деления, содержащихся в теплоносителе первого контура на выбранном участке контроля;
- о стабильности зарегистрированных средних уровней активности реперных радионуклидов в течение всего периода испытаний, что свидетельствует о сохранении герметичности оболочек твэлов в этот период что и подтверждается результатами измерения активности продуктов деления в пробах теплоносителя первого контура, отобранных до и после проведения эксперимента;
- локальные всплески уровней активности реперных радионуклидов в КО коррелируют и обусловлены перемещением компенсирующих групп управления РУ.

2. Полученные экспериментальные данные подтверждают эффективность предложенного метода оперативного контроля герметичности оболочек твэлов при работе РУ в особых режимах и перспективность его применения в целях повышения радиационной безопасности эксплуатации ЯЭУ.

Литература

1. Техническое решение «О монтаже спектрометрического блока детектирования для контроля состава и активности радионуклидов в парогазовой смеси компенсатора объёма первого контура», № РБ-17-240ТР.
2. Конструкторская документация 17.040.0000.00 МЧ, инв. № А-82353.

Отдел по Чрезвычайным Ситуациям

8.2 Основные направления деятельности отдела по ЧС

С.А. Шестопалов

Основной задачей в области гражданской обороны в 2018 году была и остаётся защита работников и территории (зданий, сооружений, объектов производственного и социального назначения) ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Это комплекс мероприятий (согласованных по целям, задачам, месту, времени проведения, занятым ресурсам), направленных на предупреждение, снижение риска возникновения, уменьшение ущерба (потерь) и окончательную ликвидацию последствий ЧС.

Данная задача реализовывалась путём подготовки органов управления, тренировок персонала НАСФ и НФГО, совершенствованием системы анализа, прогнозирования, защиты и устойчивого функционирования объектов института в мирное и военное время.

Для практического предупреждения ЧС, а в случае возникновения – для локализации ЧС и ликвидации их последствий, обеспечения безопасности и защиты персонала (работников), окружающей среды и уменьшения ущерба в институте создана и эффективно функционирует система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (СЧСО).

Запланированные на 2018 год мероприятия по развитию и совершенствованию СЧСО в области защиты работников и территории института, предупреждения и ликвидация ЧС, смягчению их последствий выполнены в полном объёме.

В результате проведённой работы, в отчётном году не допущено возникновение пожаров и ЧС техногенного характера.

Приоритетными направлениями деятельности Отдела по ЧС в 2018 году в области защиты населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера, обеспечению пожарной безопасности были:

1. Реализация на объектовом уровне основ государственной политики в области обеспечения безопасности населения Российской Федерации и защищённости критически важных и потенциально опасных объектов от угроз природного, техногенного характера и террористических актов на период до 2020 года.
2. Обеспечение постоянной готовности к действиям органов управления, сил и средств СЧСО и ГО, предназначенных и выделяемых для предупреждения и ликвидации ЧС и выполнения мероприятий ГО. Обеспечение готовности личного состава нештатных формирований.
3. Подготовка руководящего состава и органов управления СЧСО, обучение работников института действиям в ЧС. Совершенствование практических навыков сотрудников по предупреждению и ликвидации ЧС и проведению АСДНР при проведении учений и тренировок.
4. Участие в плановой проверке по соблюдению требований в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, комиссией ГУ МЧС России по Ленинградской области.

5. Осуществление мероприятий по недопущению пожаров в институте, контроль за пожарной безопасностью объектов нового строительства и бытовых городков строителей. Проведение комплексных учений по ликвидации ЧС, связанных с природными пожарами, защита предприятия от лесных пожаров.
6. Актуализация, корректировка и уточнение организационных документов.
7. Контроль за безопасностью людей при выполнении работ на водных объектах.
8. Обеспечение работоспособности системы централизованного оповещения ЛСО 5-ти километровой зоны.
9. Поддержание постоянной готовности ЗС ГО. Контроль за ходом строительства нового убежища.

8.3 Основные мероприятия, проведённые в 2018 году по вопросам ГО

В соответствии с «Планом основных мероприятий ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в области гражданской обороны … на 2018 год» 15 февраля и 16–18 мая 2018 года в институте проведены комплексные учения на тему: «Действия руководства, персонала института и взаимодействующих органов при радиационной аварии и пожаре в условиях угрозы совершения террористического акта» (приказ института от 30.01.2018 № 18/58-П).

Задействовано:

- КЧСиПБ института (20 человек);
- ДДС института (5 человек);

Работа комиссии по ЧСиПБ на пункте управления здания 108А

- сотрудники отдела по ЧС (5 человек);
- руководство ФГКУ «Специальное управление ФПС № 50 МЧС России»;
- персонал СФЗ (СБ, в/ч 3705 ВНГ, команды № 204 МУВО № 2 ФГУП «Атомохрана», 130 ОП МВД России, ОМВД России по г. Сосновый Бор, отдел в г. Сосновый Бор УФСБ России).

Привлечено непосредственно на отработку замысла учения:

- 2 формирования ФГУП «АТЦ Минатома России» СПб – 7 спасателей, 2 единицы техники (Ford «Irbis» МРГ, Fiat «Ducato» АСА);
- 17 формирований ГО – 184 чел., 2 ед. техники (автомобиль ЗРХР, дежурный автобус);
- НАСФ «САБ» – 8 спасателей, 1 оперативный автомобиль формирования;
- дежурный караул СПСЧ № 3 на АЦ 70-40.

К действиям по ликвидации последствий ЧС фактически были привлечены аварийно-спасательные формирования ФГУП «АТЦ Минатома России» СПб. РТК «Торнадо» АТЦ СПб практически осуществил закрепление и фиксацию макета ОТВС посредством «удавки» для дальнейшего подъёма. ЗРХР НИТИ совместно с группой РХР АТЦ СПб организовало наземную радиационную разведку вокруг здания 103 и на маршрутах: № 1 – Копорское шоссе в направлении Керново, по объездной дороге вокруг площадки НИТИ, № 2 – Сосновый Бор (ул. Ленинградская – ул. Академика Александрова – пр. Александра Невского – Копорское шоссе).

В ходе учения отработаны следующие основные вопросы:

1. Взаимодействие с ФГУП «АТЦ Минатома России» СПб в ведении АСДНР на площадке института.
2. Совершенствование навыков КЧСиПБ института, командного состава НФГО, руководителей структурных подразделений в управлении действиями сотрудников по решению конкретных задач, возникающих при ЧС.
3. Оценка реальности «Плана мероприятий по защите персонала и населения в случае радиационной аварии» и «Плана ГО».
4. Организация физической защиты института в условиях угрозы совершения террористического акта.
5. Проверка готовности сборного эвакопункта № 6 к развертыванию и проведению эвакуации.

Практически отработаны:

- действия персонала физической защиты при получении информации об угрозе совершения террористического акта на охраняемом объекте;
- оповещение и сбор КЧС и ПБ института;
- действия оперативного дежурного института и ДДС в условиях ЧС;
- выполнение функциональных обязанностей членами КЧСиПБ при возникновении ЧС;
- готовность начальников смен стендов к действиям в аварийных ситуациях;
- ведение радиационной разведки на промплощадке института и в прилегающей зоне;

- оказание первой медицинской помощи пострадавшим;
- использование резервных средств энергоснабжения убежищ;
- сбор и анализ данных об обстановке и выработка решений на ведение АСДНР;
- взаимодействие с ФГУП «АТЦ Минатома России» СПб и ФГУП «СКЦ «Росатом»;
- действия личного состава СПСЧ № 3 и персонала института при пожаре;
- практическая отработка действий персонала нештатных формирований и ДПД на пожарном полигоне СПСЧ № 3;
- развертывание сборного эвакопункта СЭП № 6.

Комплексная тренировка по ГО МО Сосновоборский городской округ ЛО

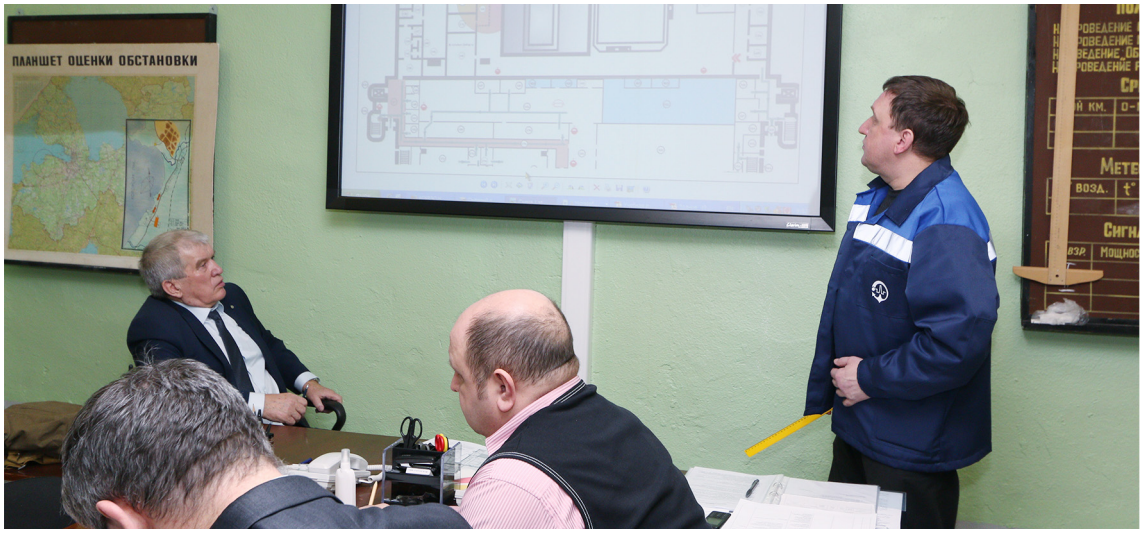
17.05.2018 года во исполнение «Плана основных мероприятий МО Сосновоборский городской округ ЛО в области гражданской обороны …. на 2018 год» подразделения института участвовали в комплексной тренировке. Постановление главы Администрации МО Сосновоборский городской округ ЛО от 28.04.2018 № 981. Тема: «Организация управления проведением эвакуации населения Сосновоборского городского округа (города) в «Особый период», а также при проведении общей экстренной эвакуации населения города при возникновении крупной (тяжёлой) радиационной аварии на радиационном объекте».

В тренировке принимали участие:

- ФГБУЗ «ЦМСЧ № 38 ФМБА России» (4 человека);
- ОМВД РФ по г. Сосновый Бор Ленинградской обл. (5 человек);
- МБОУ «СОШ № 6» г. Сосновый Бор (60 человек – статисты);
- СМУП «Спецавтотранс» г. Сосновый Бор (2 человека, 1 автобус).

От института было задействовано:

- СЭП № 6 (сборный эвакуационный пункт) института (21 человек);
- ДДС института (2 человека);
- Отдел по ЧС (5 человек).



Доклад о ходе проведения АСДНР

Практически отработаны действия администрации по эвакуации населения Сосновоборского городского округа (города). Развёрнут сборный эвакопункт. Отработаны действия сотрудников СЭП № 6 по регистрации эвакуируемых, формировании и отправке колонн.

Учебные цели тренировки достигнуты. Общая оценка «хорошо».

В феврале 2018 года в соответствии с Указанием Генеральной инспекции Госкорпорации «Росатом» от 15.02.2018 № 1-1.4/6256, с ДДС института проведены тренировки по взаимодействию с оперативно-дежурной сменой ФГУП «СКЦ Росатома» в системе автоматического оповещения.

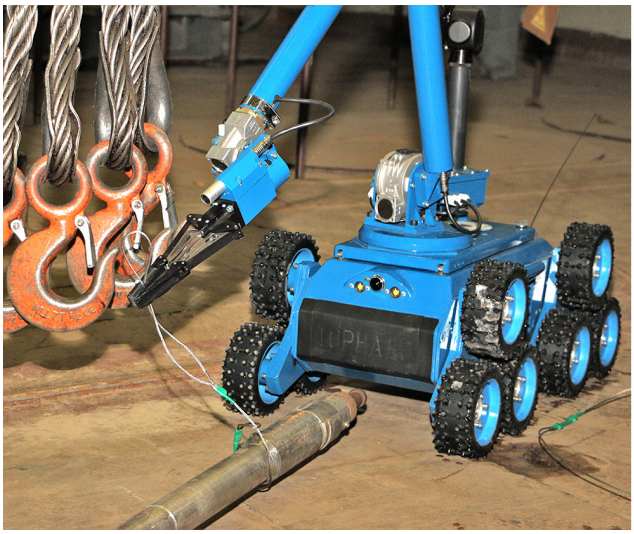
27.06.2018 года в соответствии с Планом основных мероприятий Госкорпорации «Росатом» ДДС института принимала участие в тренировке по действиям при получении сигналов оповещения по гражданской обороне. В ходе тренировки отработано взаимодействие с оперативно-дежурной сменой ФГУП «СКЦ Росатома» по системе автоматического оповещения.

01–03.11.2018 года ДДС института участвовала в штабной тренировке по гражданской обороне. Организовано информационное взаимодействие с ФГУП «СКЦ Росатома» и органами местного самоуправления МО Сосновоборский городской округ ЛО.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 30.12.2003 № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации ЧС», во исполнение требований приказа Госкорпорации «Росатом» от 17.04.2009 № 240 «Об информационном обеспечении ОСЧС и взаимодействии дежурно-диспетчерских служб организаций Госкорпорации «Росатом» с ФГУП «СКЦ Росатома» в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» введено в действие, откорректированное «Положение об информационном взаимодействии с ФГУП «СКЦ Росатома».

Все документы ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» по информационному обеспечению в нештатных (чрезвычайных) ситуациях уточнены по состоянию на 30.05.2018 и в полном объёме отвечают требованиям нормативных документов Госкорпорации «Росатом» и других федеральных органов исполнительной власти.

Было проведено пять заседаний комиссии по ЧСиПБ института, на которых рассматривались вопросы профилактического плана по предупреждению возможных ЧС, действия органов управления, должностных лиц, сил и средств в рамках комплексного учения.



РТК «Торнадо» в действии

Дезактивация РТК «Торнадо»

Ликвидации последствий учебной аварии сотрудниками НАСФ «САБ» в рамках комплексного учения

Экскурсия в полевой лагерь ФГУП «АТЦ Минатома России» СПб

Тренировка персонала базы отдыха «Голубое» по ликвидации условного пожара

19.08.2018 во исполнение «Плана основных мероприятий института …. на 2018 год» была проведена тренировка персонала базы отдыха «Голубое» по ликвидации условного пожара.

В тренировке принимали участие:

- дежурный персонал базы отдыха (5 человек);
- СПСЧ № 3 (2 человека, 1 АЦ);
- ГНПБ отдела ОТиТБ (4 человека);
- ДДС института (1 человек);
- Отдел по ЧС (2 человека).

Практически отработаны действия дежурного персонала базы отдыха по оповещению и эвакуации отдыхающих. Организован вызов и встреча пожарной охраны. Отработаны практические действия сотрудников по тушению условного пожара.

Учебные цели тренировки достигнуты. Общая оценка «хорошо».

В рамках КУ проведены соревнования расчётов нештатных формирований гражданской обороны (НФГО) и добровольной пожарной дружины (ДПД) по пожарно-прикладному виду спорта. Победители награждены грамотами и денежными премиями.

Противопожарная охрана института

В 2018 году в институте пожаров не допущено.

Работа по противопожарной охране института проводилась в соответствии с «Планом мероприятий по обеспечению пожарной безопасности института на 2018 год». В подразделениях института группой надзора за пожарной безопасностью института и отделом по ЧС, совместно с инспекторским составом СПСЧ № 3 проводятся регулярные проверки противопожарного состояния.

Разработан график проверки территории института совместно с СПСЧ № 3 с целью раннего реагирования на очаги пожара. Все мероприятия, отражённые в плане, выполнены в установленные сроки.

Для защиты площадки института от лесных пожаров выполнены противопожарные разрывы от 10 до 30 метров по периметру площадки института, как внутри, так и снаружи. В течении отчётного периода проводилась периодическая очистка от поросли и мусора.

Наибольшее внимание в 2018 году уделялось контролю за пожарной безопасностью объектов нового строительства и бытовым городкам подрядных организаций.

24.04.2018 года на промплощадке института проведено пожарно-тактическое учение, тема: «Руководство действиями при тушении лесного пожара на территории института». На учении были задействованы: АЦ 7-40 2 ед., 10 чел. л/с СПСЧ № 3, нештатные формирования ГО института – 20 человек, экскаватор, поливомоечная машина. Цели учения достигнуты.

Подразделения пожарной охраны приняли участие в комплексном учении института, тема: «Действия руководства, персонала института и взаимодействующих органов при радиационной аварии и пожаре в условиях угрозы совершения террористического акта». Личный состав СПСЧ № 3 был задействован в третьем этапе 16.05.2018 года «Отработка дей-

ствий персонала института и л/с СПСЧ № 3 при возникновении крупного пожара и эвакуации персонала из зданий с массовым пребыванием людей».

Подготовка нештатных формирований

При подготовке нештатных формирований в 2018 году, основное внимание уделялось практической отработке нормативов и выполнению конкретных задач.

В институте разработано и утверждено «Положение об объектовой добровольной пожарной дружине ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». Состав добровольной пожарной дружины в количестве 47 человек утверждён приказом института. С членами ДПД инспекторским составом СПСЧ № 3, проводятся регулярные занятия.

Расчёты ДПД отрабатывали практические действия в трёх тактико-специальных учениях и соревнованиях по пожарно-прикладному спорту среди расчётов ДПД и нештатных аварийно-спасательных формирований института.

Личный состав добровольной пожарной дружины показал высокую специальную подготовку.

На вооружении дружины имеется: оперативный автомобиль УАЗ, укомплектованный

Развёртывание штаба пожаротушения

Комплексные учения – спасение пострадавшего

Ликвидация условного пожара в здании 108

Оказание помощи пострадавшему

пожарными рукавами, пожарной колонкой, бензопилой, радиостанцией, РУПТ и огнетушителями.

Личный состав НФГО «Санитарная дружина» и «Санитарный пост № 1 и № 3» принимали участие в общегородских соревнованиях. В соответствии с Постановлением Администрации МО Сосновоборский городской округ от 10.04.2018 № 837 «О проведении городских соревнований санитарных дружин и постов» в целях совершенствования знаний и навыков личного состава санитарных дружин и санитарных постов по оказанию первой медицинской помощи пораженным, 18.05.2018 года проводились ежегодные городские соревнования санитарных дружин и санитарных постов промышленных и учебных организаций города. НФГО «Санитарная дружина» ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» (4 год подряд) и «Санитарный пост № 3» заняли первые места в своих номинациях.

В отчётном году все запланированные мероприятия по повышению готовности сил и средств СЧСО к ликвидации чрезвычайных ситуаций выполнены в полном объёме.

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» (далее – НАСФ «САБ») (приказ института от

Соревнования звеньев ДПД по пожарно-прикладному виду спорта. Награждение победителей

10.10.2012 № 12/680). Назначение, основные задачи, структура, режимы функционирования, техническое оснащение и порядок привлечения НАСФ «САБ» к выполнению работ по предназначению определены Положением о нештатном аварийно-спасательном формировании «Специальная аварийная бригада» (приказ института от 16.01.2013 № 13/18).

28 сентября 2017 года центральной отраслевой комиссией Госкорпорации «Росатом» нештатное аварийно-спасательное формирование «Специальная аварийная бригада» ФГУП НИТИ им. А.П. Александрова» численностью 10 человек, аттестована (Свидетельство серия № 10999 от 28.09.2017 г. № 1-107-060). Техника, оборудование, инструмент и снаряжение формирования – в соответствии с табелем оснащения.

В распоряжение НАСФ «САБ» предусмотрено выделение трёх единиц техники. Кроме инженерного имущества, используемого в производственной деятельности, подразделение имеет:

- разведывательно-спасательный автомобиль на базе а/м «Нива» с прицепом, оснащенный приборами, средствами связи, медицинским комплектом для оказания реанимационной помощи, средствами обеспечения техники безопасности, средствами спасения;
- мобильный электрогенератор с осветительной установкой, обеспечивающий проведение работ на месте АСДНР, подключение инструмента, сварочного оборудования;
- инструменты комбинированные и режущие.

Время приведения в готовность нештатного НАСФ «САБ» составляет: в рабочее время – 30 мин, в нерабочее время – 3,0 часа.

Обеспеченность личного состава нештатного НАСФ «САБ» средствами индивидуальной защиты – 100%. Обеспеченность приборами радиационной, химической, биологической разведки и дозиметрического контроля в соответствии с табелем оснащения, достаточно для выполнения поставленных задач.

Комплексный план мероприятий по повышению уровня готовности нештатного НАСФ «САБ» ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» на 2018 год успешно реализован.

Участие расчёта ДПД в практической тренировке

Подготовка персонала

Подготовка руководящего состава, специалистов органов управления СЧСО, работников ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в отчётном периоде была организована в соответствии с требованиями федеральных нормативных документов, организационно-методических указаний Госкорпорации «Росатом» и направлена на обеспечение готовности действовать в условиях чрезвычайных ситуаций мирного и военного времени, совершенствовании навыков в организации проведения аварийно-спасательных работ и взаимодействия привлекаемых сил и средств.

В институте создано 95 групп подготовки персонала института, сформирована 22 группы подготовки личного состава НФГО под руководством командиров НФГО.

В отчётный период подготовку прошли 2 353 сотрудника института (100 %).

Во исполнение постановления Правительства РФ от 04.09.2003 № 547 «О подготовке населения в области защиты от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (ред. от 10.09.2016), в отчётный период прошли обучение в ГАУ ДПО «УМЦ ГОЧС и ПБ Ленинградской области» :

- 39 руководителей занятий по ГОЧС по программе *«Повышение квалификации в области ГО и защиты от ЧС работников, осуществляющих обучение различных групп населения в области ГО и ЧС»;*
- 7 руководителей нештатных аварийно-спасательных формирований по программе *«Повышение квалификации в области ГО и защиты от ЧС, должностных лиц и специалистов сил ГО и РСЧС»;*
- 2 сотрудника отдела по ЧС института по программе *«Повышение квалификации в области ГО и защиты от ЧС должностных лиц, и специалистов постоянно действующих органов управления ГО и РСЧС».*

В 2018 году в целях решения задач, связанных с подготовкой должностных лиц и работников в области ГО затрачено 216,705 тыс. рублей.

В институте имеется учебный класс, предназначенный для подготовки руководящего и командно-начальствующего состава, проведения всех видов занятий с персоналом института.

Работа сотрудников сборного эвакопункта № 6

Все работники института допускаются к работе после прохождения вводного противопожарного инструктажа, который проводится сотрудниками СПСЧ № 3, согласно вышеуказанного договора.

Обучение работников института проводится сотрудниками группы надзора пожарной безопасности по специальным программам обучения пожарно-техническому минимуму для сотрудников института и сторонних организаций, которые согласованы с главным государственным инспектором ФГКУ «Специального управления № 50 МЧС России».

Основные усилия в отчётном 2018 году были направлены на:

- **в области защиты сотрудников и территории** ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» *от чрезвычайных ситуаций* – дальнейшее совершенствование объектовой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, реализация мероприятий, направленных на снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, повышение готовности органов управления, сил и средств к ликвидации чрезвычайных ситуаций, совершенствование системы мониторинга и прогнозирования, инженерной, радиационной, химической и медицинской защиты, подготовки работников к действиям в чрезвычайных ситуациях;
- **в области пожарной безопасности** – реализацию мероприятий, направленных на повышение защищенности сотрудников ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», производственных зданий и сооружений от возможных пожаров.

Выполнено в отчётном 2018 году, для решения поставленных задач:

1. На территории ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» чрезвычайных и нештатных ситуаций, пожаров не допущено.
2. В полном объёме отработан «План основных мероприятий ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в области гражданской обороны, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах на 2018 год», «План работы комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» на 2018 год».
3. Институт успешно, без замечаний прошёл проверку УНДиПР Главного управления МЧС России по Ленинградской области в области ГО и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.
4. Актуализированы локальные нормативные акты института в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.
5. Взаимодействие дежурно-диспетчерской службы института с ФГУП «СКЦ Росатома» налажено в соответствии с постановлением Правительства РФ от 30.12.2003 № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации ЧС» и требований приказа Госкорпорации «Росатом» от 17.04.2009 № 240 «Об информационном обеспечении ОСЧС…». Введено в действие, откорректированное «Положение об информационном взаимодействии с ФГУП «СКЦ Росатома».

6. «План по реализации ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» Основ государственной политики Российской Федерации на 2018–2024 годы (I этап) в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 года» разработан и находится на согласовании в подразделениях института.
7. Во исполнение «Плана основных мероприятий…» и с целью поддержания в постоянной готовности сил и средств объектовой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, совершенствования системы взаимодействия привлекаемых сил и средств, проведены тактико-специальное учение, специальные учения по противопожарной защите, штабная тренировка, противоаварийные тренировки на опасных производственных объектах.
8. Выполнены работы по поддержанию в готовности локальных систем оповещения на промышленной площадке института.
9. Осуществлялись меры по обеспечению пожарной безопасности технологических процессов взрывопожароопасных и пожароопасных производств, работы по оборудованию помещений установками автоматического обнаружения и тушения пожаров.
10. Выполнялись мероприятия по обеспечению пожарной безопасности в ходе строительных работ с подрядными организациями АО «КОНЦЕРН ТИТАН-2» и АО «ФЦНИВТ «СНПО «Элерон».
11. Нештатные формирования ГО оснащены высокоэффективными техническими средствами для проведения спасательных работ. Обновление осуществляется по мере финансирования.
12. Запасы финансовых и материальных ресурсов для ликвидации ЧС в достаточном количестве соответствуют предъявляемым требованиям.

Заключение

Уровень готовности объектовой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, подготовки членов КЧСиОПБ ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», АСФ постоянной готовности и личного состава НАСФ «САБ», состояние систем управления, связи и оповещения, уровень радиационной и химической защиты работников института, а также проведённый комплекс организационных и инженерно-технических мероприятий в отчётном 2018 году, позволил решать задачи, направленные на предупреждение чрезвычайных ситуаций и обеспечение готовности к ликвидации последствий в случае их возникновения.

Состояние защиты персонала и территории ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в отчётном 2018 году в целом оценивается как удовлетворительное.

9. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

9.1 Видеокадры контроля технологических защит и блокировок Белорусской АЭС

9.2 Разработка концепции управления АЭС Эль-Дабаа

9. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Основные направления работ ОГК АСУТП в 2018 году

Основные объёмы работ по направлению «Создание комплексных систем управления» выполнялись отделом главного конструктора автоматизированных систем управления технологическими процессами (ОГК АСУТП). В работах участвовали специалисты отделения динамических исследований (ОДИ) и управления энергетических систем (УЭС).

В 2018 году выполнена разработка концепции управления АЭС «Эль-Дабаа» (Арабская Республика Египет). Особое внимание было уделено функциональному подходу к управлению технологическими процессами и учёту человеческого фактора при проектировании пунктов управления АЭС, развитию встроенных средств информационной поддержки операторов, способствующих снижению вероятности ошибок персонала: обобщенных видеокадров, режимных видеокадров и видеокадров представления параметров безопасности, электронных инструкций.

Для блочного пункта управления Белорусской АЭС выполнена разработка комплекса заданий на видеокадры контроля технологических защит и блокировок. В видеокадрах реализуются функции предварительной обработки и обобщения информации, необходимой для оперативного контроля состояния технологических защит и блокировок, что значительно повышает степень осведомленности оперативного персонала АЭС и снижает количество ошибочных действий при управлении. Разработка выполнялась на основании дополнительного требования Инозаказчика, и выполнена впервые для проекта АЭС-2006 разработки АО «Атомпроект».

Из других важных работ необходимо отметить участие сотрудников ОГК АСУТП:

- в выполнении работ по функциональному анализу АЭС «Эль-Дабаа»;
- в выполнении комплекса работ по анализу и обоснованию учёта человеческого фактора при проектировании АЭС «Ханхикиви-1»;
- в разработке технического проекта системы автоматического ввода резервного источника питания (АВРИП-6кВ) для испытательного стенда института.

9.1 Видеокадры контроля технологических защит и блокировок Белорусской АЭС

М.С. Григорьев, К.А. Маслова, А.И. Павлюк, В.В. Рючин

Введение

На каждом блоке АЭС должен быть предусмотрен блочный пункт управления (БПУ), оперативный персонал которого осуществляет управление технологическим оборудованием систем нормальной эксплуатации и систем безопасности при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации, включая аварии [1]. Одной из главных задач при проектировании человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) пунктов управления является предоставление оператору точной, полной и своевременной информации относительно состояния оборудования и параметров протекания технологического процесса. Актуальность данной задачи подчеркивается тем фактом, что источником значительной части нештатных ситуаций на АЭС является человек [2].

В состав разрабатываемых ЧМИ для удовлетворения основных требований международных нормативных документов входят развитые средства информационной поддержки операторов (режимные видеокадры, обзорные видеокадры и информационные видеокадры). Тем не менее, для улучшения информационной поддержки, а также в соответствии с отраслевым планом корректирующих мероприятий было принято решение о включении в состав системы верхнего блочного уровня (СВБУ) диагностических видеокадров (ВК) контроля состояния автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП), шаговых программ, технологических защит и блокировок (ТЗиБ) ([3], [4]).

В 2018 году специалистами ОГК АСУТП ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» была разработана функциональная часть проекта ЧМИ для диагностических ВК контроля ТЗиБ основного технологического оборудования Белорусской АЭС.

Общие сведения о реализации защит и блокировок

В современных АЭС для оптимизации процессов контроля, управления и диагностирования используется децентрализованная, пространственно-распределенная по функциям и средствам иерархическая АСУТП [5], включающая ряд уровней, в том числе, уровень автоматизации, индивидуального управления и обработки измерений, который представляет собой стойки автоматизации в виде стандартных крейтов с установленными в них необходимыми функциональными модулями программно-технического комплекса (ПТК), реализующими прием, обработку и выдачу аналоговых и дискретных сигналов для индивидуального управления, регулирования, защит и т.п.

В проекте Белорусской АЭС для автоматизированного проектирования ПТК на базе типовых программно-технических средств (ТПТС) используется инструментальный комплекс конфигурирования GET-R и графический язык программирования STEP-M для конфигурирования функциональных модулей из базовых функций в виде графических схем алгоритмов (управления, регулирования, измерения и др.), которые называются функциональными планами (ФП).

Функциональный план (алгоритм функционирования) – это алгоритм, задающий условия и последовательность действий компонентов системы при выполнении ей своих функций [6]. Для каждого механизма и точки контроля предусмотрены отдельные функциональные планы, а для снижения нагрузки на серверы и шины и увеличения быстродействия информационные потоки в ПТК максимально замыкаются.

При проектировании могут быть сформированы ФП трёх уровней: обзорного, промежуточного и индивидуального. Однако, при конфигурировании модулей используются только ФП индивидуального уровня, а обзорный и промежуточный уровень предназначены для отображения связи между элементами системы (технологического узла) или между модулями в шкафу.

Пример ФП представлен на *рисунке 1*.

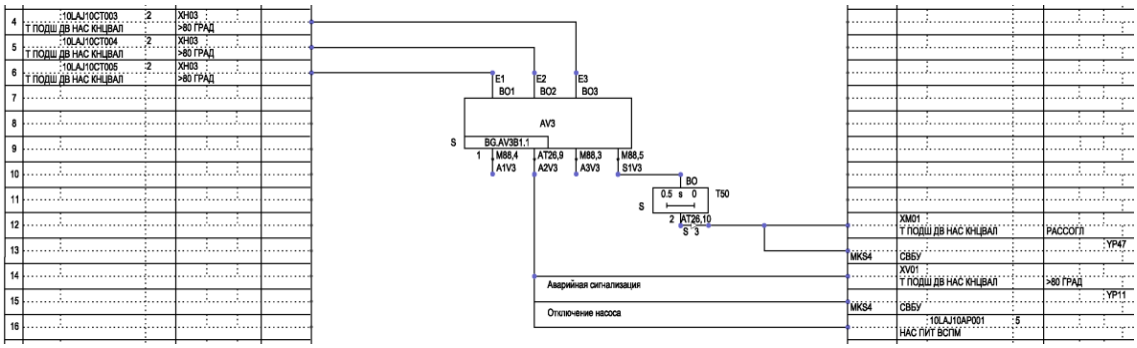


Рисунок 1– Пример ФП в GET-R

Рабочее поле ФП состоит из основной надписи и трёх полей: в левой части ФП расположены входные сигналы, центральная часть предназначена для графического изображения алгоритма обработки входных сигналов при помощи пиктограмм функциональных блоков и логических связей, правая часть содержит сформированные выходные сигналы и их распределение по адресам.

Автоматические технологические защиты и блокировки обеспечивают недопущение эксплуатации технологического оборудования в случаях, когда условия эксплуатации (температура охлаждающей среды, давление рабочей среды и т.п.) не соответствуют требованиям, установленным в эксплуатационной документации этого оборудования. Состав автоматических защит и блокировок, входные и выходные сигналы, алгоритмы и параметры реализации задач являются уникальными для каждой технологической системы АЭС и определяются в рамках заданий на автоматизацию конкретных технологических систем.

Отключение оборудования на функциональных планах (*рисунок 2*) отображается через входы блока «OFF»: защит – «P1» и «P2», разрешения прохождения команды на выключение – «R», автоматического отключения – «A».

Вход «R» (в данном примере) имеет на входе «1», т.е. насос всегда может быть остановлен защитой или оператором вручную. На вход «A» приходят сигналы автоматического отключения (как правило от шаговых программ, программ ступенчатого нагружения при пуске дизель-генераторов, программ автоматического включения резервного оборудования, дискретного регулирования и т.п.), не требующие блокировок (вывода) при эксплуатации.

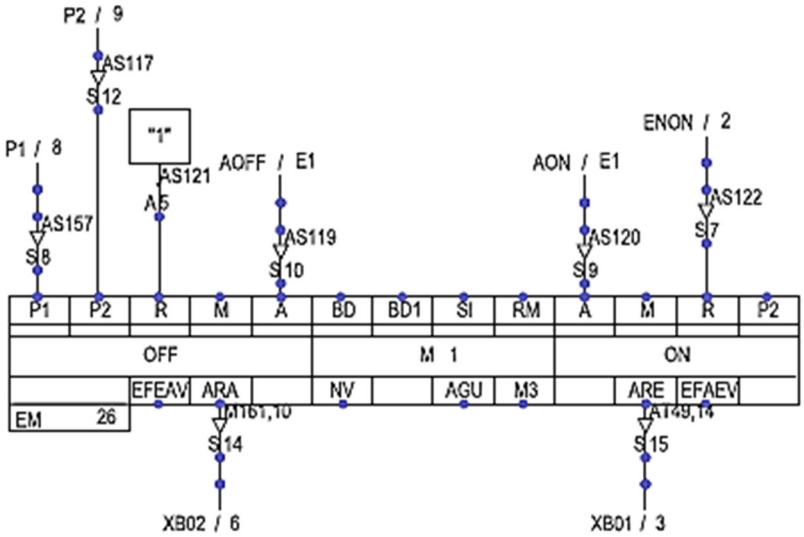


Рисунок 2 – Блок управления насосом

Внесение изменений в алгоритмы функционирования готового ПТК (например, параметризация или полное удаление отдельных связей) на АЭС может быть реализовано при необходимости и с соблюдением установленных организационно-технических требований с инженерной (диагностической) станции СВБУ. Однако данный способ применим для редких и/или единичных случаев, но не для периодического ввода/вывода ТЗиБ. Кроме того, возникает проблема отображения оператору состояния той или иной защиты (введена или выведена) в текущий момент времени.

Оптимальным решением с точки зрения контроля готовности технологического оборудования и программ и анализа развития нарушений оперативным персоналом, а также диагностирования отказов ПТК персоналом, обслуживающим систему контроля и управления, является отображение активации инициирующих событий, выполнения логики обработки и формирования итогового сигнала с обеспечением навигации в ФП назначения сигнала. Подобные «динамические» ФП могут быть интегрированы в общий ЧМИ и могут стать частью электронных инструкций, особенно применительно к реализации программ функционально-группового управления (т.е. автоматизированного управления группой технологического оборудования).

Многообразие и сложность технологических процессов оказывают существенное влияние на алгоритмы автоматического регулирования, технологических защит и блокировок, а отсутствие динамического отображения сигналов в СВБУ вынуждает эксплуатирующие организации поднимать вопрос о реализации дополнительных ВК. В результате, для проекта Белорусской АЭС контроль состояния АСУТП и шаговых программ был реализован силами АО «РАСУ», контроль состояния ТЗиБ основного технологического оборудования – специалистами ОГК АСУТП «НИТИ им. А.П. Александрова». В качестве основного технологического оборудования рассматриваются насосные и вентиляционные установки с развитыми алгоритмами защит.

Для решения обозначенных выше проблем вывода защит и отображения оператору

их состояния, каждый сигнал, приходящий на входы «Р1» и «Р2», дополнительно объединяется с разрешением срабатывания данной защиты при помощи логического блока «И» (рисунок 3), который блокирует прохождение сигнала при необходимости вывода защиты.

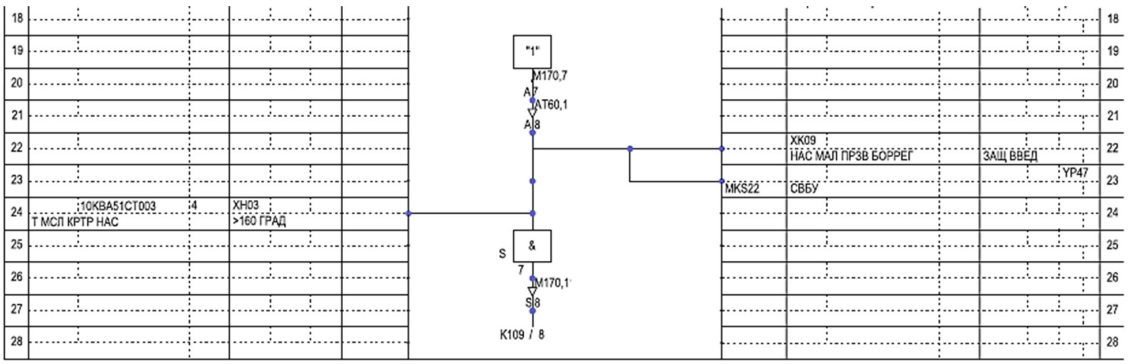


Рисунок 3 – Пример блокирования сигнала защиты

Непосредственно разрешение выносится на видеокадр в табло «Защита введена», обеспечивая информационную поддержку оператора за счет контроля обобщенной сигнализации состояния ТЗиБ и точной идентификации выведенных из работы защит.

Организация информационной поддержки операторов

Информация об объёме и распределении по автоматизированным рабочим местам (АРМ) разработанных ВК и контролируемого оборудования и защит представлена в *таблице 1*.

Таблица 1

Распределение ВК ТЗиБ по АРМ

АРМ/оператор	Количество ВК	Количество оборудования	Количество сигналов защит
ВИУР	37	75	473
ВИУТ	34	48	508
СВО	28	54	281
ПВП	24	61	231
Итого:	123+4 обзорных	238	1493

Данные ВК не предназначены для управления и служат для анализа причин отключения оборудования (выявления причины срабатывания защиты) и информационной поддержки в части контроля выведенных из работы защит.

Видеокадр ТЗиБ представляет (*рисунок 4*) алгоритм формирования сигналов защит с наложенными на него исходными точками контроля и табло формирования и состояния защит в соответствии с общими принципами организации ЧМИ [7] и использованием библиотеки стандартных моделей, используемой в проекте SCADA-системы.

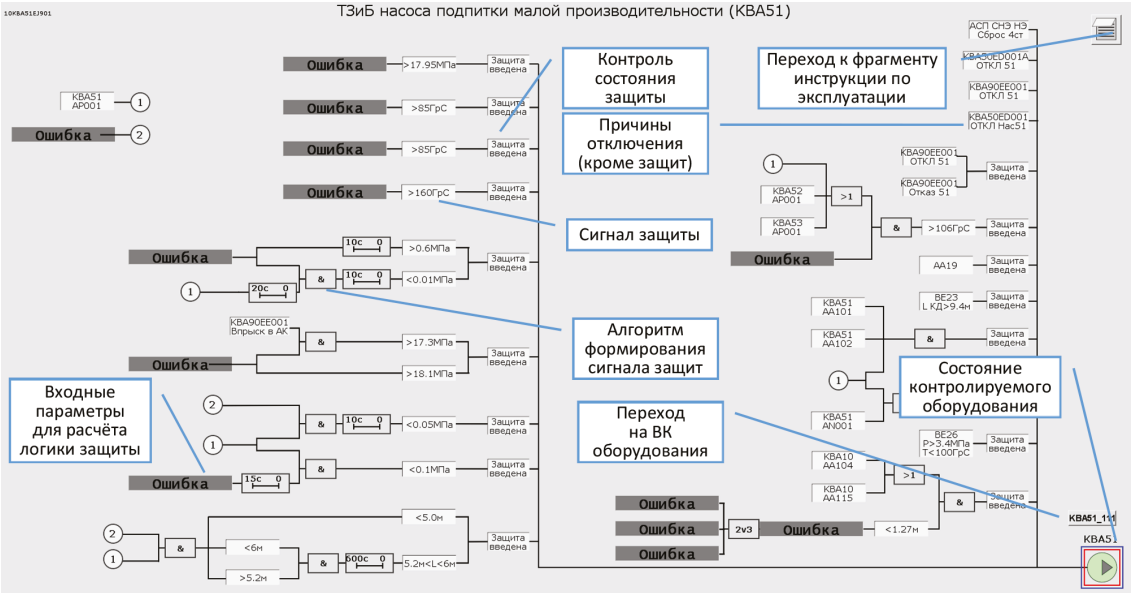


Рисунок 4 – Структура ВК ТЗиБ

На ВК также выносятся все остальные причины останова оборудования, которые не требуют вывода при эксплуатации (сигналы, подаваемые на вход автоматического отключения). Это позволяет быстро обнаружить первопричины отключения технологического оборудования со сложной логикой формирования защитных сигналов.

Важной задачей при проектировании ЧМИ является снижение информационной нагрузки за счет предоставления только той информации, которая необходима для управления технологическим процессом в данных условиях. При этом доступ к другой информации должен оставаться беспрепятственным и быстрым [8]. Данные задачи были успешно решены за счет создания системы навигации и обобщённой сигнализации для проекта ЧМИ в целом.

Для органичной интеграции новых видеокадров ТЗиБ в иерархическую систему реализованного ЧМИ и обеспечения навигации были сформированы дополнительные обзорные ВК ТЗиБ в рамках ответственности операторов: при выводе защиты или появлении технологической сигнализации на ВК ТЗиБ данная информация отображается в обобщенной сигнализации на обзорном ВК ТЗиБ соответствующего оператора, откуда попадает на обзорный ВК АРМ оператора. Кроме того, предусмотрены дополнительные переходы с технологических ВК для рассматриваемого оборудования и обратно.

Заключение

Диагностические видеокадры состояния ТЗиБ реализуют функции предварительной обработки и обобщения информации, необходимой для оперативного контроля состояния технологических защит и блокировок, что значительно повышает степень осведомленности оперативного персонала и снижает количество ошибочных действий при управлении. Отсутствие подобной диагностической информации у оператора может привести к ошибкам: некорректной постановке цели, некорректному восприятию информации, проблемам с выполнением определенных действий [9].

В то же время возникает вопрос поддержания актуальности данных ВК, особенно в

период пусконаладочных работ, когда возможна корректировка функциональных планов, поэтому предпочтительным является отображение динамического прохождения сигналов непосредственно на ФП (если это позволяет применяемая SCADA-система) и дальнейшая интеграция данной информации в системы информационной поддержки операторов (например, в компьютеризированные процедуры).

Литература

1. НП-001-15 Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций».
2. Падерно П. И. Надежность и эргономика биотехнических систем /П.И. Падерно, Е.П. Попечителев. – СПб. : СПбГЭТУ, 2007. – 288 с.
3. Приказ КРЭА от 19.05.2014 № 9/524-П.
4. Письмо филиала ОАО «Концерн Росэнергоатом» Дирекции строящейся Ленинградской АЭС-2» заместителю генерального директора – Директору отделения технологии ВВЭР АО «Атомпроект» от 14.07.2015. № 16-01-3/9033.
5. АЭС-2006 Ленинградская АЭС-2 Технический проект АСУТП Схема структурная комплекса технических средств LN2O.B.110.&.&&&&&&.&&&&&.070.LJ.0001.
6. ГОСТ 34.003-90 Информационная технология (ИТ). Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения.
7. ЛАЭС2 Система контроля и управления. Описание общих проектных решений по человеко-машинному интерфейсу. АРМ пунктов управления и контроля 16-19/1145 Версия 2.
8. Ergonomic standards of International Standard Organization (ISO). «Ergonomic principles related to mental workload» № 10075 1, 2, 1996.
9. B. Shneiderman, et.al. Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction, Hoboken: Pearson, 2016.

9.2 Разработка концепции управления АЭС Эль-Дабаа

М.С. Григорьев, Ю.Н. Кудицкий, К.А. Маслова, В.Г. Михалицын

Введение

Для использования разработчиками общих подходов к управлению технологическими процессами АЭС, связанными с выработкой электроэнергии и с обеспечением безопасности, при проектировании технологических и электрических систем, систем контроля и управления, пунктов управления и инструкций по управлению технологическими процессами требуется разработка единого концептуального документа на основе:

– требований EPC (Engineering, Procurement and Construction)-контракта;

- требований действующих международных и российских нормативных документов, касающихся безопасности, управления технологическими процессами АЭС, пунктов управления;
- концепции безопасности АЭС;
- опыта проектирования АЭС с ВВЭР с аналогичным уровнем автоматизации технологических процессов, с аналогичной централизацией управления и архитектурой пунктов управления;
- возможностей применяемых технических средств автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Необходимость подобного документа обусловлена отсутствием детальных нормативных требований к управлению технологическими процессами АЭС с современной компьютеризированной системой контроля и управления (СКУ), необходимостью раскрытия требований EPC-контракта в части управления АЭС и соблюдения единых подходов к управлению АЭС всеми участниками проекта на всех этапах жизненного цикла станции (проектирование, изготовление, поставка, наладка, ввод в эксплуатацию и эксплуатация оборудования, управление авариями и т.д.).

В 2018 году специалистами ОГК АСУ ТП ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» подобный документ был разработан для проекта АЭС Эль-Дабаа в Египте. Документ разрабатывался с учётом принципов и решений, сформулированных в концепции управления АЭС-2006 [1].

Общие сведения о концепции управления

Концепция управления обеспечивает входные данные для:

- выполнения функционального анализа АЭС;
- разработки концепции СКУ АЭС;
- проектирования технологических и электрических систем АЭС (в части автоматизации);
- разработки архитектуры основных пунктов управления АЭС.

Положения концепции управления учитываются также при:

- проектировании человеко-машинного интерфейса операторов пунктов управления АЭС;
- проектировании алгоритмов автоматики;
- разработке инструкций по управлению технологическими процессами (эксплуатационных процедур и аварийных процедур);
- составлении программ обучения операторов пунктов управления АЭС.

Схема, иллюстрирующая место концепции управления в проекте АЭС, представлена на *рисунке 1*.

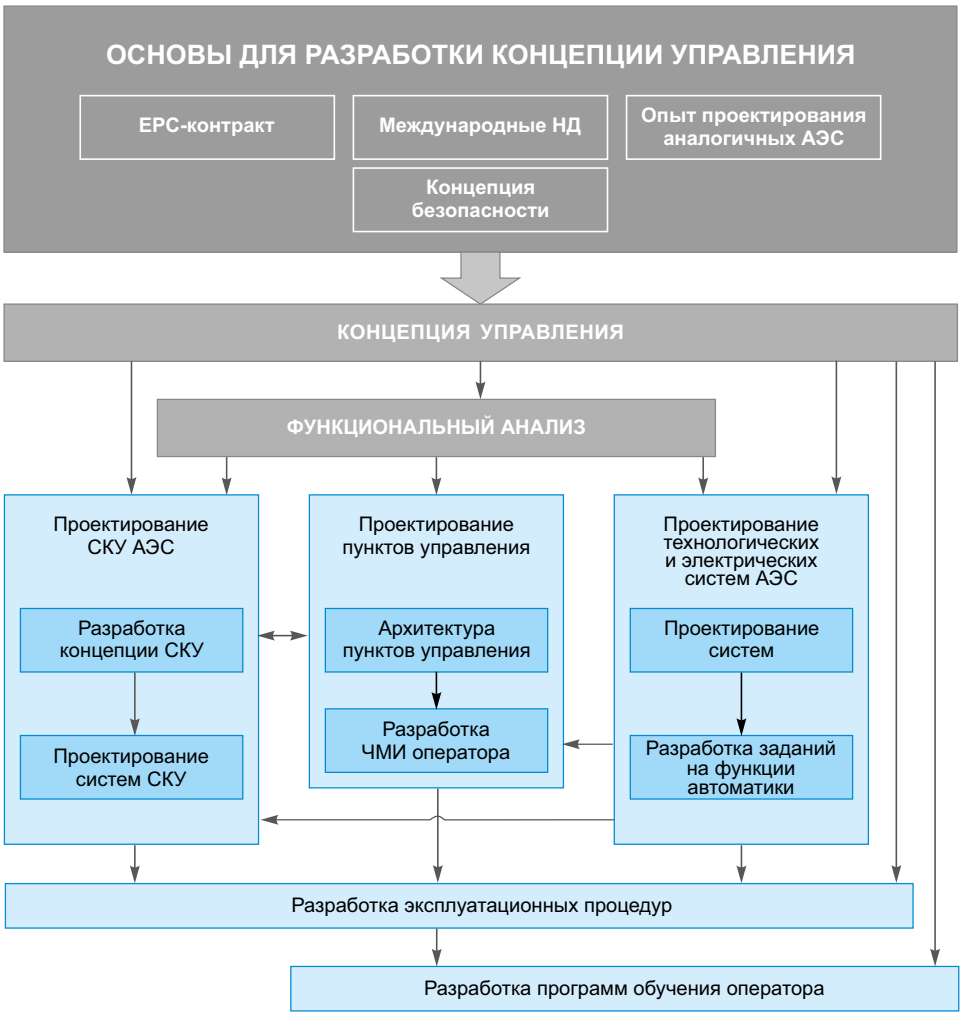


Рисунок 1 – Место концепции управления в процессе проектирования АЭС

9.2.2 Основные принципы управления

Главными целями эксплуатации АЭС являются:

– обеспечение надежной выработки электроэнергии в заданном проектом количестве и с качеством, соответствующим требованиям энергосистемы;

– обеспечение безопасности АЭС во всех состояниях и режимах эксплуатации.

В основу управления технологическими процессами АЭС положены следующие основополагающие принципы:

– принцип управления функциями АЭС;

– принцип обеспечения эффективности АЭС;

– принцип обеспечения безопасности АЭС на базе реализации глубокоэшелонированной защиты;

– принцип учёта человеческого фактора.

В соответствии с принципом управления функциями проектирование систем и средств управления технологическими процессами АЭС базируется на функциональной структуре технологических процессов АЭС – схеме функционального деления технологических процессов АЭС. Технологическое оборудование и средства СКУ группируются в функциональные технологические группы, функциональные подобласти и функциональные области.

В отличии от концепции управления АЭС-2006 [1] в концепции управления АЭС «Эль-Дабаа» в схеме функционального деления рассмотрены также общестанционные функции АЭС.

В соответствии с принципом обеспечения эффективности АЭС нефункциональные требования к средствам управления формируются в зависимости от влияния реализуемых ими функций управления:

- на основной технологический процесс;
- на безопасность.

В соответствии с принципом обеспечения безопасности АЭС с учётом подходов к глубокоэшелонированной защите средства управления технологическими задачами АЭС проектируются с учётом их отношения к уровням защиты АЭС.

По сравнению с концепцией управления АЭС-2006 [1] в концепции управления АЭС «Эль-Дабаа» значительное внимание уделено учёту человеческого фактора при проектировании АЭС. Это было обусловлено подготовкой и выпуском ряда международных и международно-признанных нормативных документов, касающихся учёта человеческого фактора при проектировании АЭС.

В соответствии с принципом учёта человеческого фактора средства управления, пункты управления, средства информационного обеспечения и информационной поддержки персонала АЭС проектируются с учётом:

- обеспечения требуемых эргономических характеристик, соответствующих возможностям человека;
- результатов анализа технологических задач АЭС и функций управления технологическими процессами АЭС (т.н. «Функционального анализа АЭС») оборудования по описанному выше принципу функционального управления, распределения функций управления между человеком и машиной, между пунктами управления АЭС, между отдельными операторами;
- проектных решений по снижению вероятности ошибок операторов при управлении технологическими процессами АЭС, в том числе решений в референтной АЭС;
- применения электронных эксплуатационных и аварийных процедур управления процессом;
- возможностей и особенностей выбранных средств автоматизации и SCADA, выбранных для контроля и управления технологическими задачами АЭС.

В проекте АЭС предусматриваются следующие виды управления технологическими процессами АЭС:

– автоматическое управление – управление технологическими процессами или оборудованием по заданной программе без участия персонала;

– автоматизированное управление – управление технологическими процессами, оборудованием, или другими объектами посредством СКУ с участием персонала централизованных пунктов управления и местных пунктов управления;

– управление оборудованием по месту – управление технологическим оборудованием без использования централизованных средств СКУ посредством воздействия персонала на индивидуальные средства управления, расположенные на этом оборудовании (или в непосредственной близости от него).

9.2.3 Особенности пунктов управления в проекте Эль-Дабаа

Состав и назначение пунктов управления технологическими процессами АЭС «Эль-Дабаа» определяются на основе деления всех технологических функций АЭС на:

– технологические функции, связанные с обеспечением безопасности;

– функции основного технологического процесса (ОТП);

– вспомогательные технологические функции, косвенно связанные с ОТП;

– вспомогательные технологические функции, не связанные с ОТП (например, системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха)

– общестанционные технологические функции, не связанные с ОТП.

Для управления технологическим процессом предусмотрены следующие типы пунктов управления:

– централизованные пункты управления с постоянным присутствием персонала (сменного персонала);

– местные пункты управления (МПУ).

Основные подходы к проектированию пунктов управления АЭС заключаются в следующем:

– контроль и управление главными (такими, как задачи эффективной выработки электроэнергии и обеспечения безопасности, пожарной безопасности), и вспомогательными технологическими задачами энергоблока реализуются с блочного пункта управления (БПУ) во всех режимах и состояниях АЭС;

– при невозможности управления технологическими процессами с БПУ задачи перевода РУ в безопасное состояние останова, обеспечения пожарной безопасности и обеспечения электроэнергией от сторонних источников реализованы с резервного пункта управления (РПУ);

– контроль и управление технологическими задачами общестанционных зданий и сооружений АЭС, задачами выдачи мощности в энергосистему и координация работы неоперативного персонала АЭС реализуются с общестанционных пунктов управления;

– разделение ответственности между разными операторами одного или различных пунктов управления выполняется так, чтобы каждая отдельная, достаточно обособленная, технологическая задача была целиком в зоне ответственности одного оператора. Этот принцип определяет оперативную ответственность оператора и количественный состав соответствующих средств контроля и управления;

– основой для разделения ответственности между операторами является структура функционального деления технологического процесса АЭС и оперативная ответственность, определяемая влиянием на уровни защиты в глубину.

На каждом энергоблоке АЭС для организации централизованного контроля и управления технологическими процессами предусматриваются следующие централизованные и местные пункты управления с постоянным присутствием персонала:

– БПУ, включая центр технической поддержки (ЦТП);

– РПУ;

– пункт водоподготовки;

– блочный пункт радиационного контроля;

– блочные МПУ.

Отдельно от основного помещения БПУ предусматривается ЦТП, предназначенный для работы персонала, оказывающего поддержку персоналу БПУ в аварийных условиях. Персоналу ЦТП представляются средства связи (внутренние и внешние) и информация, позволяющие контролировать состояние энергоблока.

На блочных МПУ без постоянного присутствия персонала для задач, которые непосредственно не связаны с выработкой электроэнергии, реализуется выполнение только следующих операций, не входящих в состав основных технологических задач:

– контроль и управление оборудованием, для которого отсутствует необходимость выполнения операций чаще, чем 1 раз в 12 часов и для которого не требуется изменение режима работы при нарушениях нормальной эксплуатации (НЭ);

– выполнение операций по подготовке оборудования (технологических систем) к пуску согласно инструкциям по эксплуатации;

– периодическое обслуживание и визуальный контроль состояния технологического оборудования с автоматизированного рабочего места (АРМ) МПУ и/или по месту размещения оборудования;

– диагностика оборудования, технологических систем на соответствующих локальных средствах поставщика оборудования или на АРМ МПУ, для сокращения обмена информацией с БПУ, РПУ в процессе периодических осмотров, при обслуживании, при пуско-наладке оборудования.

Также предусматриваются следующие общестанционные пункты управления:

– центральный пункт управления;

– центр аварийной готовности в защищенном пункте управления противоаварийными действиями атомной станции;

– помещение сменного персонала общестанционных систем;

– помещение инженера-технолога химического цеха;
– общеподстанционный пункт управления;
– общестанционные МПУ.

Состав общестанционных пунктов управления АЭС обуславливался требованиями контракта на сооружение АЭС «Эль-Дабаа», с учётом существующих решений по референтной станции (Ленинградской АЭС-2).

9.2.4 Особенности применения концепции ГЭЗ в проекте Эль-Дабаа

В 2012 году МАГАТЭ скорректировала, а рабочая группа Европейских регулирующих органов WENRA (West European Nuclear Regulators Association) детализировала [2] концепцию глубокоэшелонированной защиты (ГЭЗ), направленную на дальнейшее повышение безопасности: было предложено разделение 3 уровня ГЭЗ на два подуровня (3a и 3b) с выявлением четких различий между средствами и условиями для каждого подуровня.

Уровень 3a соответствует прежнему третьему уровню и предусматривает удержание под контролем проектных аварий.

В рамках уровня 3b предлагается рассматривать сценарии с малой вероятностью или с множественными отказами, которые ранее относились к запроектным авариям. Для подобных событий должны быть предусмотрены организационные или дополнительные технические меры по ограничению их последствий. Для выбора между данными мерами может использоваться целевой ориентир в виде вероятности большого выброса радиоактивных веществ в окружающую среду, при котором требуется эвакуации населения за пределами зоны планирования защитных мероприятий. Если для какого-либо сценария данный целевой ориентир не выполняется, то необходимы дополнительные технические меры.

Данный подход нашел отражение в проектах АЭС Пакш II (Венгрия) и Ханхикиви I (Финляндия). Подход, предусмотренный для АЭС Эль-Дабаа [3] несколько отличается и более близок к подходам, использованным для Ленинградской и Белорусской АЭС: 3 уровень ГЭЗ подразумевает предотвращение перерастания исходных событий в проектные аварии, а проектных аварий – в запроектные с применением систем безопасности, а также ослабление последствий аварий, которые не удалось предотвратить, путем локализации выделяющихся радиоактивных веществ. Для 4 уровня ГЭЗ предусмотрено разделение на запроектные аварии (режимы сложных последовательностей отказов), не связанные с плавлением топлива (в активной зоне и бассейне выдержки) – DEC 1 (Design Extension Conditions, режимы расширенного проектирования) и тяжелые запроектные аварии с повреждением твэл выше максимального проектного предела – DEC 2.

В соответствии с принципом глубокоэшелонированной защиты на каждом уровне ГЭЗ предусматриваются соответствующие системы автоматического управления и человеко-машинный интерфейс, обеспечивающие необходимый уровень контроля и управления. Состав средств контроля и управления на каждом уровне ГЭЗ определяется набором технических и организационных средств решения задач НЭ и безопасности.

Заключение

Концепция управления содержит следующие концептуальные положения:

- обзорные сведения по функциям АЭС как объекта управления;
- цели и принципы управления;
- виды и способы управления;
- уровень автоматизации управления;
- организация пунктов управления технологическими процессами АЭС;
- организация человеко-машинного интерфейса пунктов управления АЭС.

Концепция управления базируется на принципах и решениях, представленных в концепции управления АЭС-2006 [1], учитывает требования современных международных нормативных документов по проектированию пунктов управления и учёту человеческого фактора, а также требования контракта на сооружение АЭС «Эль-Дабаа».

Таким образом, разработка концепции управления позволяет сформировать у всех участников процесса сооружения АЭС единое понимание подходов к управлению технологическими процессами и является первым шагом процесса функционального проектирования СКУ и пунктов управления АЭС.

Литература

1. АЭС-2006 с энергоблоками ВВЭР-1200. Базовый проект. АСУТП энергоблока. Концепция управления энергоблоком АЭС-2006. 2006.С.133.&.&&&&&&.&&&&&.070.GA.0001
2. WENRA. Report. Safety of new NPP designs. Study by Reactor Harmonization Working Group RHWG. March 2013. Licensing of safety critical software for nuclear reactors. Common position of seven European nuclear regulators and authorized technical support organizations.
3. АЭС «Эль-Дабаа». Концептуальный проект. Концепция безопасности. ED.C.P000.&.&&&&&&01&&&&.000.TJ.0001.R Ревизия B01. 2016

10. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

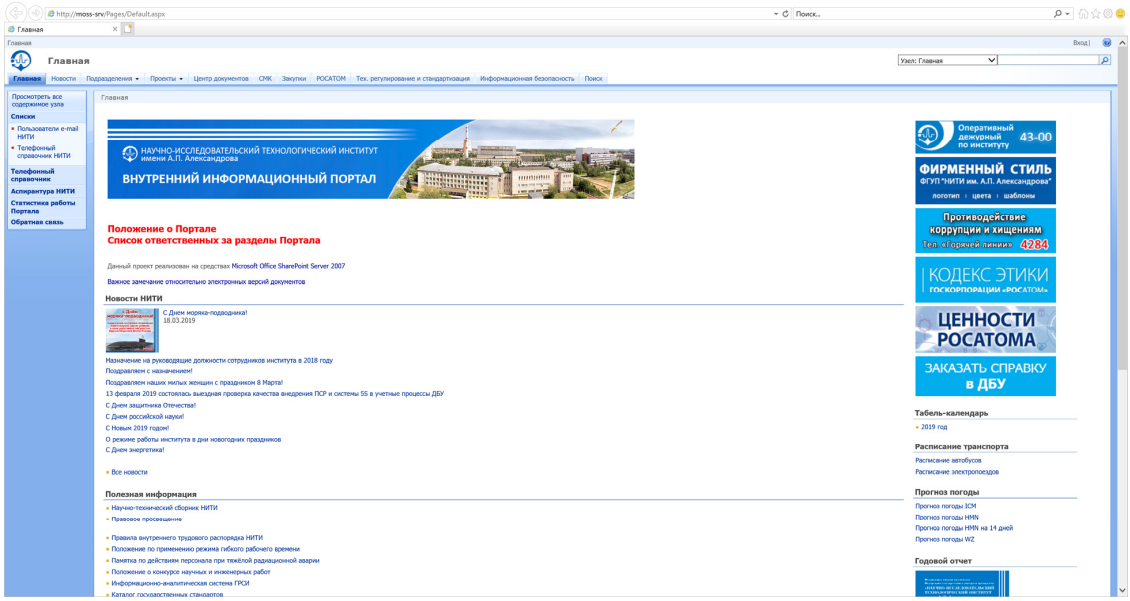
10. ОТДЕЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

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

Отдел информационных технологий (далее – ОИТ) создан как самостоятельное подразделение НИТИ в 2016 году для выполнения функций оператора по предоставлению ИТ-услуг и системного администрирования ИТ-ресурсов в подразделениях института.

В 2018 году работа ОИТ выполнялась в соответствии с основными целями ОИТ по обеспечению современными информационными технологиями и повышению эффективности деятельности подразделений НИТИ.

В рамках осуществления Политики ИТ силами ОИТ реализовывались мероприятия по применению централизованного управления информационными ресурсами института с применением методов доменной структуры, унификации оборудования и ПО, распределения корпоративных данных по резервируемым и территориально удаленным системам хранения. Данные методы, основываясь на мировой практике в области ИТ, являются на



Главная страница внутреннего информационного портала

сегодняшний день преобладающими решениями, в рамках которых можно оказывать действительно эффективную, минимально затратную по времени обслуживания и количеству ИТ-персонала ОИТ техническую поддержку пользователей. Особое значение в работе ОИТ уделялось качеству и эффективности выполняемой работы.

Это позволило эффективно и с минимальными затратами по времени обслуживания и количеству привлекаемого ИТ-персонала ОИТ осуществлять своевременную техническую поддержку пользователей.

В настоящее время силами ОИТ обслуживается и осуществляется поддержка пользователей НИТИ:

- 24 основных корпоративных информационных систем и модулей;
- 48 внешних информационных систем, в том числе:
  - 22 системы Госкорпорации «Росатом»;
  - 16 федеральных государственных систем;
  - 10 систем банков и Управления федерального казначейства.

В течение года проводились работы по проекту «Внедрение Единой отраслевой системы документооборота (далее – ЕОСДО)»:

- проведены предварительные испытания ЕОСДО;
- проведена опытная эксплуатация ЕОСДО;
- проведено обучение пользователей ЕОСДО (общее количество обучившихся на сегодняшний момент составляет 80 человек).

Срок ввода в промышленную эксплуатацию ЕОСДО – первое полугодие 2019 года.

В части работ реализации дистанционного банковского обслуживания (ДБО):

- осуществлен переход на новую версию системы АБ «Россия»;
- организовано техническое подключение к системе «Промсвязьбанк».

В части обеспечения доступа к федеральным государственным информационным системам:

- организовано подключение к информационной системе «Меркурий», предназначенной для электронной сертификации и оформления электронных ветеринарных сертификатов (необходимых для работы столовой института и кафе «Радуга»);
- организовано подключение к личному кабинету страхователя ФСС ГИС «Соцстрах» для работы с электронными листками нетрудоспособности;
- организовано подключение к автоматизированной системе торгов государственного оборонного заказа;
- организована регистрация на электронных торговых площадках сотрудников НИТИ для возможности мониторинга цен и получения технико-коммерческих предложений для расчёта начально-максимальной цены в электронном виде.

В течение года осуществлялась поддержка и доработка корпоративной информационной системы управления ресурсами предприятия «Компас» (далее – КИС «Компас»):

- разработана новая программа по табельному учёту в рамках КИС «Компас»;
- организован и настроен в КИС «Компас» прием, обработка и расчёт электронных больничных листов;
- оптимизировано формирование табеля по шифру производственных затрат и расчёт среднесписочной численности по государственному оборонному заказу;
- оптимизирован расчёт НДС по льготному проценту по материалам;
- организована и отлажена сдача отчетности в пенсионный фонд через корпоративную информационную систему «Компас».

В 2018 году силами ОИТ была продолжена работа по созданию центра обработки данных института, используемых в корпоративных информационных системах.

Впервые в институте специалистами группы администрирования серверных систем ОИТ был организован отказоустойчивый кластер физических серверов на базе гипервизоров платформы VMware VSphere v_6.7. Кластер VMware VSphere позволил использовать вычислительные мощности нескольких серверов (до 5 узлов) и разместить на нём файлы виртуальных серверов. Реализована возможность перемещать виртуальные сервера между узлами кластера как в ручном, так и в автоматическом режиме. Таким образом, удалось повысить надежность виртуальной инфраструктуры и минимизировать вероятность простоя сервисов в случае неожиданного выхода из строя серверного оборудования.

Для хранения файловой информации и организации файловых архивов подразделений в феврале 2018 года создан отказоустойчивый кластер MS Windows Cluster на базе Windows Server 2016. Переход от архитектуры с отдельными файловыми серверами к архитектуре единого отказоустойчивого кластера позволяет организовать общедоступное корпоративное хранилище файловых архивов подразделений и файлов сотрудников института, а также масштабировать объём существующего хранилища в 5 раз.

В настоящее время ведется миграция файловой информации в файловое пространство кластера без остановки рабочих процессов в подразделениях института. Завершение этапа миграции в 2019 году позволит ОИТ перейти от схемы с репликацией информации между отдельными файловыми серверами к схеме, при которой данные пользователей будут храниться в едином файловом кластере, а виртуальные серверы будут выступать в роли узлов файлового кластера.

Модернизирован сервис по длительному хранению резервных копий корпоративных данных пользователей домена и сервисов института. Срок хранения архивов увеличен в два раза.

На основе созданной тестовой среды начались работы по подготовке к обновлению внутреннего информационного портала НИТИ. В рамках обновления программной платформы информационного портала НИТИ проведена процедура многоступенчатого перевода платформы с версии ПО SharePoint 2007 на версию SharePoint 2016. При миграции на очередную версию платформы проводилось тестирование работы портала и проверка работоспособности информационного содержания. В конце 2018 года проведены отладка тестовой версии портала на базе SharePoint 2016 и исправление имеющихся ошибок.

В рамках сопровождения и развития информационного контента внутреннего информационного портала НИТИ организован прием заявок от сотрудников НИТИ на выдачу справок департамента бухгалтерского учёта (далее – ДБУ). Используя реализованный

функционал каждый сотрудник института может дистанционно в удобное время заказать в ДБУ оформление справок различного вида, включая справки о доходах, среднем заработке, страховых взносах и др.

Впервые в институте сотрудниками лаборатории системного администрирования ОИТ совместно с сотрудниками отдела слаботочных систем была внедрена и протестирована работа цифровой телефонии (IP-телефонии). В рамках проекта в ОИТ была выполнена следующая работа:

- настройка и установка на рабочие места сотрудников ОИТ телефонных аппаратов, поддерживающих протокол VoiceIP IP-телефонии;
- организация сервера управления IP-телефонией;
- настройка шлюза IP-телефонии VoiceIP D-link DVG-3016S;
- настройка переадресации входящих вызовов.

Использование IP-телефонии предназначено для решения задач, которые с помощью технологии аналоговой телефонной сети общего пользования реализовать труднее, либо дороже.

В процессе эксплуатации протестированы следующие функции, предоставляемые в рамках использования IP-телефонии:

- меню донабора внутреннего номера;
- функции автоответчика с информацией о правилах соединения связи с сотрудниками ОИТ;
- запись телефонных разговоров;
- работа в многоканальном режиме;
- переадресация входящих вызовов (в том числе на мобильные номера) после голосового сообщения автоответчика;
- определение номера входящего вызова;
- переадресация вызова с городской линии связи на местную;
- организация телеконференции.

Внедрение IP-телефонии оптимизировало работу сотрудников ОИТ и повысило качество обслуживания пользователей в части оказания технической поддержки. Единый многоканальный номер службы технической поддержки позволил принимать одновременно несколько входящих звонков – эта возможность повысила эффективность работы службы технической поддержки (исключается ситуация «коротких гудков, при занятой линии»).

Функции определения номера входящего вызова, ведение журнала пропущенных звонков и автоответчика позволили без пропусков фиксировать все важные для сотрудников звонки с просмотром журналов вызовов.

Функция телеконференции позволила, не покидая рабочее место, обсуждать с коллегами по подразделению срочные производственные вопросы (исключается ситуация «перезвоните другому специалисту ОИТ»).

В 2019 году планируется осуществить перевод всех сотрудников ОИТ на IP-телефонию.

11. ЭНЕРГОМЕХАНИЧЕСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

11.1 Управление энергоснабжением

11.2 Отдел главного механика

11. ЭНЕРГОМЕХАНИЧЕСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

11.1 Управление энергоснабжением

А.Н. Гавричков

В рамках выполнения основных задач, стоящих перед УЭС в 2018 году, было выполнено:

По направлению

«Содержание в технически исправном состоянии действующих и резервных энергоустановок, энергооборудования и инженерных сетей»:

– с целью поддержания в исправном состоянии и обеспечения безаварийной эксплуатации электротехнического и технологического оборудования, электрических и инженерных сетей, гидротехнических сооружений была организована работа на качественное выполнение графиков планово-предупредительных ремонтов (ППР) как силами работников УЭС, так и с привлечением персонала других подразделений НИТИ и сторонних организаций, разработаны графики ППР на 2019 год;

– проведено техническое освидетельствование поднадзорного оборудования энергоустановок, трубопроводов пара и горячей воды на ОПО, систем важных для безопасности стендовых комплексов института, зарегистрированных на предприятии и Ростехнадзоре. Разработаны графики технического освидетельствования поднадзорного оборудования на 2019 год;

– перед началом отопительного сезона 2018–2019 годов проведены необходимые ремонтные работы на теплопотребляющих установках, системах теплоснабжения, электротехнических системах, проведены наладочные работы по системам отопления и теплоснабжения, выполнены контрольно-измерительные испытания вентиляционных систем и установок кондиционирования. По результатам работы комиссии Комитета по топливно-энергетическому ком-

плексу Ленинградской области по проверке готовности систем теплоснабжения и электроснабжения, теплопотребляющих установок, НИТИ выдан акт о готовности к работе в осенне-зимний период 2018–2019 годов;

– выполнен большой объём работ работниками УЭС по выполнению мероприятий, предусмотренных Титульными списками ремонтов, дооборудования и модернизации с целью поддержания в технически исправном состоянии оборудования и сетей УЭС, строительных конструкций зданий и сооружений, гидротехнических сооружений и восстановления их технических характеристик, а также оказана организационная и техническая помощь другим подразделениям НИТИ, войсковой части 3705 в реализации указанных Титульных списков;

– разработана необходимая техническая документация (технические решения, технические задания, дефектные ведомости, акты технического состояния по установленным формам) для постановки на бухгалтерский учёт вновь приобретаемого технического и электротехнического оборудования, а также для списания и ликвидации выведенного из эксплуатации оборудования, сетей, объектов капитального строительства;

– обеспечено бесперебойное снабжение энергоресурсами заданных параметров стендовых комплексов ОКЭЭР и ОИКАР в период проведения испытаний;

– разработаны технические задания на оказание услуг на сервисное и оперативно-эксплуатационное обслуживание, капитальный ремонт электрического оборудования; на разработку рабочей документации и на поставку оборудования для объектов УЭС и подразделений института;

– проведено техническое обслуживание железнодорожных путей необщего пользования, стрелочных переводов, железнодорожных переездов, заменено 350 деревянных шпал на железобетонные, обновлён технический паспорт и инструкция о порядке обслуживания и организации движения на железнодорожном пути, произведена частичная ликвидация путей № 38 и № 38а.

По направлению

«Техническое перевооружение и ввод в работу новых теплопотребляющих и электрических установок и оборудования»:

– выполнены контрольно-измерительные испытания вентиляционных систем и установок кондиционирования института по утверждённому графику с оформлением отчётной документации;

– совместно с ОГМ выполнена замена силовых трансформаторов Т-1 и Т-2 здания 120, щитов постоянного тока боксов № 1 и № 3 здания 122а;

– разработана рабочая документация на замену 2-х трансформаторов собственных нужд здания 121б;

– выполнен ремонт элегазовых выключателей типа ВГТ-110 (3 комплекта); элегазовых трансформаторов напряжения типа TG-145 ПС-551 (9 шт.); трансформаторов напряжения типа НКФ-110 (6 шт.); разъединителей типа РГ.2-110/1000 (6 комплектов), РГ.1-К-110/1000 (2 комплекта); ограничителей перенапряжений

типа ОПН-110 (6 шт.) и ОПНН-110 ПС-551 (2 шт.); силовых трансформаторов Т-1 и Т-2 типа ТРДН-40000/110 ПС-551;

– выполнено сервисное обслуживание зарядно-выпрямительных устройств GUTOR (ЗВУ) аккумуляторных батарей здания 121б и здания 122а;

– выполнена реконструкция ЗРУ-1 здания 121б (замена вводных ячеек);

– выполнена поверка измерительных трансформаторов напряжения на ОРУ-110 кВ ПС-551 и измерительных трансформаторов тока в ЗРУ-6 кВ ПС-169 системы коммерческого учёта электрической энергии АИИС КУЭ;

– в рамках выполнения полученных технических условий от АО «Атомэнергопромсбыт» на модернизацию АИИС КУЭ ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», разработано, согласовано с контрагентами, утверждено техническое задание на разработку проекта «Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учёта электроэнергии (мощности) ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»;

– проведены испытания АИИС КУЭ на предмет определения её соответствия требованиям оптового рынка;

– выполнены силами ЭТЛ ПНР по электроснабжению трансформаторов Т-1 и Т-2 здания 104, Т-1 и Т-2 здания 120, столовой войсковой части 3705.

По направлению

«Снижение расходов предприятия на содержание энергохозяйства и минимизации затрат на оплату энергоносителей»:

– продолжалась успешно решаться задача снижения затрат предприятия на оплату электрической энергии и мощности путём выставления на торги через АО «АтомЭнергоПромСбыт» ежедневных почасовых заявок на покупку электрической энергии и мощности в режиме «на сутки вперёд», заявки составлялись на основе оперативной информации отделов института;

– вёлся контроль режимов потребления электроэнергии и использования мощности с упреждением превышения разрешённых лимитов;

– в соответствии с п.1.4 плана-графика к распоряжению Правительства РФ № 511-р освоена и ведётся отчётность о фактических показателях надёжности и качества услуг предприятия как территориальной сетевой организации перед Минэнерго посредством отгрузки данных в личном кабинете на сайте nadeznost.minenergo.gov.ru;

– в соответствии с целевой моделью «Получение разрешения на строительство и территориальное планирование», утверждённое распоряжением Правительства РФ от 31.01.2017 № 147-р, оформлены регламент технологического присоединения энергопринимающих устройств заявителей к электрическим сетям ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» и типовой договор об оказании услуги по технологическому присоединению в электрической сети.

По направлению

«Энергосбережение и повышение энергетической эффективности»:

- поддержание в регламентном состоянии основной взаиморасчётной системы учёта электрической энергии (АИИС КУЭ НИТИ), выполнены испытания системы на предмет определения соответствия требованиям оптового рынка, получен акт класса «А» о соответствии системы коммерческого учёта электрической энергии в сечении коммерческого учёта АО «Атомэнергопромсбыт»-АО «Петербургская сбытовая компания» (ОАО «Петербургская сбытовая компания») (PATOMSBI-PLENENER);
- наращивается и адаптируется к требованиям пользователей функционал виртуального портала «Энергетика-2»;
- в соответствии с заданием ЯОР Госкорпорации «Росатом», разработаны материалы от ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» для подготовки ежегодного государственного доклада о состоянии энергосбережения и повышения энергетической эффективности в организациях Госкорпорации «Росатом»;
- выполнен пересмотр и утверждение Методик расчёта экономии средств, полученной от сокращения потребления энергетических ресурсов, для стояночного режима работы стендовых установок, пересмотр и актуализация Программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» по требованию руководства Госкорпорации «Росатом»;
- в соответствии с графиком выполнена замена устаревших световых приборов на световые приборы с энергоэкономичными источниками света в зданиях 108а, 108б, 112 института, что позволило сократить расходы на электроэнергию, улучшить показатели качества освещённости (уменьшение пульсации, при меньшей мощности – увеличение светового потока).

По направлению

«Планирование и отчётность потребления различных видов энергоресурсов (почасовое, суточное, ежемесячное, квартальное и годовое)»:

- подразделением ежемесячно составляется отчётность по потреблению и распределению всех видов энергоресурсов между зданиями и подразделениями НИТИ, а также ведётся определение, выставление и согласование объёмов потреблённых энергоресурсов с поставщиками и сторонними потребителями (субабонентами и транзитными потребителями);
- ежеквартально для Госкорпорации «Росатом» формируется отчётность по энергосбережению о достижении целевого показателя в натуральных единицах и в денежном выражении; отчётность формируется и ведётся посредством АСУ Энергоэффективностью (проект Госкорпорации «Росатом» P-BS2-1).
- в 2018 году, согласно заданию ЯОК Госкорпорации №Росатом» № 1-4.3/48845 от 28.11.2017, в АСУЭ были введены сведения о мероприятиях из утверждённой

программы энергосбережения и ожидаемом эффекте от их внедрения;

– ежегодно выпускаются и поквартально (по мере необходимости) корректируются приложения к договорам энергоснабжения, согласуются лимиты энергопотребления.

По направлению

«Договорная работа»:

– в соответствии с п.12.5 «Порядка взаимодействия структурных подразделений и должностных лиц, участвующих в планировании, размещении и исполнении заказов на закупку товаров, работ, услуг для собственных нужд», утвержденного приказом по институту от 14.03.2016 № 16/273-П, УЭС как закупочное подразделение-исполнитель по расходным договорам формирует информацию о заключении и исполнении договоров в системе SAP SRM;

– освоен и успешно ведётся автоматизированный документооборот с АО «ПСК» по договору энергоснабжения в рамках биллинговой системы расчётов с юридическими лицами ИКУС ЮЛ (личный кабинет Интерфейс SWE (POFFICE).

По направлению

«О дальнейшем развитии ПСР»:

В 2018 году в УЭС были разработаны и реализованы следующие ПСР-проекты:

– перевод сетей освещения в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» на современную полупроводниковую (светодиодную) арматуру;

– совершенствование процесса разработки проектной документации на «Автоматизированные индивидуальные тепловые пункты института».

Достигнутые работниками УЭС результаты работы напрямую зависят от скоординированных действий и взаимодействия структурных подразделений управления, грамотного планирования работ руководителями, контроля со стороны руководителей УЭС за своевременным и качественным выполнением запланированных работ, принципиального и профессионального отношения персонала к своим функциональным обязанностям. За высокие достижения в труде 59 сотрудников УЭС в 2018 году были поощрены Почётными грамотами, грамотами, благодарностями администрации института.

11.2 Отдел главного механика

Е.Б. Шехонов

Наиболее значимые работы отдела главного механика в 2018 году.

Обеспечение эксплуатации систем стенда транспортной ЯЭУ

В период межциклового обслуживания, в сжатые сроки выполнены следующие работы:

- капитальный ремонт водоочистной вращающейся сетки аванкамер АК7, АК8;
- ремонт баков технической воды с заменой днища и нижнего пояса боковых стенок, замена участков трубопроводов системы технической воды резервной дизель-электрической станции;
- техническое диагностирование трубопроводов систем топлива и масла резервной дизель-электрической станции;
- ремонт и замена трубопроводной арматуры;
- замена участка трубопровода напорной линии насоса;
- ремонт трубопроводной проходки напорной линии насоса.

Обеспечение технического водоснабжения испытательного стенда

Для обеспечения технического водоснабжения испытательного стенда насосными агрегатами здания стенда успешно произведены работы по замене ротора насоса Д4000-95-2 Н4 с доработкой рабочего колеса.

Работы по реконструкции промышленной котельной института

Продолжены работы по реконструкции промышленной котельной института с целью снижения затрат на ее содержание и энергосбережение: выполнен демонтаж парового котла ДКВР 10/39 № 6, демонтаж подогревателей мазута ПМ 40-16, ПМ 40-15 (2 шт.), разборка трубопроводов и площадок обслуживания, демонтаж мазутных насосов 4Н5х4, 6НК-9х1 (2 шт.), НК 65/35-125-С, питательного ЦНСГ-60-198 № 2, фильтров очистки мазута (6 шт.), демонтаж щитов и шкафов управления и питания – (15 шт.).

Подготовка объектов института к отопительному сезону 2018–2019 гг.

В рамках подготовки к отопительному сезону 2018–2019 гг. выполнены работы:

- капитальный ремонт участка теплосети: произведена замена труб Ду 65 – 96 п.м., при этом применены трубы в ППУ изоляции;
- ремонт бункера мокрого хранения соли № 2 с полной заменой металлообли-цовки и нанесением антикоррозионного покрытия;
- ремонт оборудования котельной в соответствии с графиками ППР.

Произведён ремонт тепловой изоляции трубопроводов теплосетей института Ду500, Ду400, Ду250, Ду200, Ду100 протяжённостью более 1 км. В соответствии с требованиями пожарной безопасности выполнена установка огнезащитных вставок из оцинкованного железа (в качестве покровного слоя) через каждые 100 м на участке теплосетей Ду700 (протяженностью 3 500 м) от павильона 1 до зд.129.

Работы по ремонту оборудования и инженерных систем института

Продолжены работы по ремонту огнезащитных покрытий инженерных систем института. Произведен ремонт огнезащитного покрытия воздуховодов П-6 в боксе № 1 резервной дизель-электрической станции. Проведено восстановление огнезащиты строительных конструкций и кабельных проходок в основных зданиях института.

Выполнен ремонт трубопроводов ХПВ столовой института.

Выполнен монтаж площадок обслуживания трубопроводов. Смонтировано 50 т металлоконструкций. Выполнение данной работы позволило обеспечить безопасность и оперативность при эксплуатации и обслуживании трубопроводной арматуры коллекторной.

Силами ОГМ:

- выполнены работы по замене электродвигателя механизма подъёма тали ТЭ 320 мостового крана рег. № К-527 в м/з № 1;
- завершены работы по ремонту козлового крана КК-20-32А г/п 20тс; установлены заглушки в аванкамерах АК1, АК2, АК3, АК4;
- произведен ремонт водостоков зд. 108, монтаж импульсных линий в зд. 167;
- выполнена ревизия и ввод в эксплуатацию станочного оборудования;
- выполнен ремонт подъёмно-транспортного и технологического оборудования по планам-графикам ППР, в том числе ремонт водоочистных машин №6 и №8, насосов Д 4000-95-2 Н3, Н4, задвижек НБ3/Н, НБ4/Н Ду500 30с946нж;
- выполнены ремонт и обслуживание оборудования и м/к КПП института, средний ремонт, техническое диагностирование и проведение полного технического освидетельствования мостовых электрических кранов г/п 10 т;
- выполнен ремонт участков воздуховодов ВЕ-4, ВЕ-5 Ø200 мм в зд.121Б с установкой 2-х вытяжных зонтов над шкафами зарядки аккумуляторов.

Экономические показатели деятельности отдела

В 2018 году объём работ, выполненный отделом по внутрихозяйственному расчёту, составил 131 272 532,48 руб., в том числе по капитальному ремонту – 8 160 098,00 руб.

В целях улучшения условий труда работников ремонтно-строительного участка ОГМ, часть персонала переведена в здание 107А.

12.НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

12.1 Международное сотрудничество

12.2 Участие специалистов НИТИ в совещаниях, семинарах, конференциях, выставках, молодёжных форумах Госкорпорации «Росатом»

12.3 Научно-технические издания, публикации

12.4 Конкурсы научных и инженерных работ

12. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

12.1 Международное сотрудничество

Ю.В. Крюков

В 2018 году участие сотрудников ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в международном научно-техническом сотрудничестве проходило по следующим направлениям.

Участие специалистов института в работе международных конференций и совещаний (Франция, Япония, Китай, Финляндия, Чешская республика, Венгрия, Латвия, Египет)

С 14 по 18 января начальник отдела ИТА Альмяшев В.И. принял участие в первом совещании Правления проекта АЯЭ ОЭСР TCOFF, посвященном термодинамическому описанию топливного дебриса и продуктов деления на основе анализа сценариев тяжёлой аварии на АЭС Фукусима-1. (г. Париж, Франция).

С 26 по 28 февраля, с 16 по 18 мая, с 17 по 18 июня и с 12 по 15 ноября начальник отдела главного конструктора АСУТП Михалицын В.Г. принял участие в совещаниях рабочей группы по учёту человеческого фактора в проекте (Human Factors Engineering) (г. Хельсинки, Финляндия).

С 28 мая по 02 июня начальник отдела ИТА Альмяшев В.И. принял участие в Ежегодном техническом совещании в рамках программы Горизонт 2020 «Стратегия внутрикорпусного удержания расплава активной зоны» (IVRM) (г. Ржеж, Чешская республика).

С 30 июня по 06 июля начальник отдела ИТА Альмяшев В.И. принял участие в совещании по проекту АЯЭ «Термодинамическое описание топливных осколков и продуктов деления на основе анализа сценария развития тяжёлой аварии на АЭС Фукусима-Дайичи» (TCOFF) и на совещании CLADS. (г. Токио, Япония).

С 02 по 05 июля, с 06 по 09 ноября и с 16 по 19 декабря начальник отдела главного конструктора АСУТП Михалицын В.Г. и начальник лаборатории Кудицкий Ю.Н. этого же отдела приняли участие в совещаниях на площадке АЭС ПАКШ-2. (г. Пакш, Венгрия).

С 24 по 29 июля начальник лаборатории отдела главного конструктора АСУТП Кудицкий Ю.Н. принял участие в совещании по обсуждению технического задания на АСУТП АЭС для энергоблоков 7,8 Тяньваньской АЭС (г. Пекин, Китай).

С 18 по 23 ноября сотрудники отдела главного конструктора АСУТП Кудицкий Ю.Н. и Григорьев М.С. приняли участие в совещании рабочей группы по обсуждению с Египетским Заказчиком документа «Концепция управления» для проекта АЭС «Эль-Дабаа» (г. Каир, Египет).

Дочернаяя компания China National Nuclear Power в провинции Цзянсу и China Nuclear Energy Corporation подписали соглашение с российской компанией Атомстройэкспорт о строительстве 7 и 8 блоков Тяньваньской АЭС. Общий объем инвестиций в проект составляет 1,702 млрд долларов США.
Отмечается, что китайская и российская сторона совместно построят 7 и 8 блоки Тяньваньской АЭС, с использованием российского реактора VVER-1200/V491 и турбоагрегатов российского производства. Реакторы 7 и 8 будут находиться на территории объекта Тяньвань города Ляньюньган, начало строительства двух реакторов соответственно май 2021 года и март 2022. Тяньваньская АЭС на данный момент является крупнейшим китайско-российским проектом технико-экономического сотрудничества. На ее территории планируется расположить 8 реакторов, охлаждаемых водой под давлением мощностю в 1 млн мегаватт каждый. Реакторы 1-4 построены с использованием российской технологии VVER-1000, что соответствует требованиям безопасности третьего поколения. В основу сооружения Тяньваньской АЭС положен российский проект ВВЭР-1000, который полностью удовлетворяет требованиям современных нормативно-технических документов Китая, Российской Федерации и МАГАТЭ.

Командирование специалистов института за границу для выполнения совместных договорных работ (Китай, Латвия)

В рамках договора с АО «СНИИП» сотрудники отдела химико-технологических исследований выезжали в Китай (г. Ляньюньган) для проведения работ на оборудовании АСРК Тяньваньской АЭС блок 4, поставленном ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»: инженер Гордеев Е.В. с 14 марта по 02 мая, начальник группы Козин М.И. с 04 апреля по 20 мая, начальник лаборатории В.Ф. Киреев и ведущий инженер Иванов В.П. с 11 апреля по 26 мая, а также Киреев В.Ф. с 01 по 15 июля.

С 08 по 11 августа начальник лаборатории отдела химико-технологических исследований Гайко В.Б. принял участие в приёмо-сдаточных испытаниях гамма-спектрометрического оборудования (г. Рига, Латвия).

Работа специалистов института по международным соглашениям и контрактам (Франция, Республика Беларусь)

1 июля 2016 года заключён контракт с Институтом противорадиационной защиты ядерной безопасности «IRSN», Франция. Наименование контракта: «Изучение процессов в кориуме на различных стадиях формирования ванны расплава в корпусе реактора». Основание для заключения контракта – соглашение по программе *CORDEB, этап 2 (CORDEB 2)*. Срок действия контракта до 31.05.2019.

В 2018 году в рамках работы по контракту CORDEB 2 во Францию передан один отчётный материал на английском языке – Отчет по экспериментам, задачи CP4 и CP5 (Программа CORDEB 2. Этап D4).

27 сентября 2018 года заключён контракт с Организацией по экономическому сотрудничеству и развитию (OECD, Франция). Наименование контракта: «Оказание интеллектуальных услуг по проекту TCOFF. Содействие изучению фазовых равновесий в системе U-Zr-Fe-O». Срок действия контракта до 05.04.2019.

В рамках работы по контракту во Францию передано два отчетных материала на английском языке:

1. Промежуточный отчёт (Эксперименты PET (01-04). Техническая информация).
2. Отчёт по экспериментам PET (01-04). Оказание интеллектуальных услуг по проекту TCOFF (Контракт: SRM № 5000069094).

С 24 мая 2018 года был заключен контракт с УП «Атомтех» (республика Беларусь). Наименование контракта: «Изготовление и поставка установки дозиметрической гамма-излучения УДГ-АТ130» (без источников гамма-излучения) – 1 шт., установки поверочной нейтронного излучения УПН-АТ140 (без источников нейтронного излучения) – 1 шт. Монтаж, пусконаладка и обучение персонала АО «ПО «Севмаш». Срок действия контракта до 20.12.2019.

С 20 февраля 2015 года был заключен контракт с УП «Атомтех» (республика Беларусь). Наименование контракта «Участие в загрузке источников ионизирующего излучения в установки УДГ-АТ130 и УПН-АТ140 и их пусконаладке». Срок действия контракта до 30.03.2019.

Организация и проведение встречи с иностранными специалистами

23 мая 2018 года состоялся визит иностранных специалистов на экспериментальную установку комплекса «РАСПЛАВ» в рамках участия в международном проекте АЯЭ/ОЭСР TCOFF. Во встрече принимали участие три иностранных специалиста (два специалиста из Японии, один специалист из Италии). Целью визита являлось обсуждение результатов исследований за первый год работы в рамках международного проекта АЯЭ/ОЭСР TCOFF, а также, посещение экспериментальных установок комплекса «РАСПЛАВ».

С 12 по 16 июня 2018 года состоялся визит иностранных специалистов с целью проведения аудиторской проверки согласно плану SNQ/026/2017. Во встрече принимали участие девять иностранных специалистов из Венгрии. Тема аудиторской проверки: Разработка проектной документации по концепции управления АЭС Пакш-2 – принципы управления технологическими процессами производства электроэнергии на АЭС и обеспечения ядерной безопасности. Анализ, проектирование и обоснование влияния человеческого фактора на этапе ПООБ (технической документации) в соответствии с п. 3.а.34.

25 июля 2018 года состоялась встреча с двумя специалистами «АТП АТОМТОПЛОПРОЕКТ» ООД (Болгария). Цели визита: патентование решений, разработанных в рамках Договора о конфиденциальности между ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» и «АТП АТОМТОПЛОПРОЕКТ» (№ 16/14-04/69 от 07.09.2016); планирование совместных работ в области расчётно-экспериментального обеспечения безопасности АЭС с блоками ВВЭР-1000, установленными на АЭС «Козлодуй», Болгария; обсуждение перспективных направлений совместных исследований, ориентированных на повышение уровня безопасности АЭС.

С 29 октября по 02 ноября 2018 года прошёл региональный учебный курс по применению кодов для анализа безопасности реакторов с водой под давлением типа ВВЭР, оснащенных усовершенствованными средствами безопасности. Принимали участие одиннадцать иностранных специалистов (один специалист из Армении, два специалиста из Республики Беларусь, один специалист из Болгарии, три специалиста из Венгрии, три специалиста из Словацкой республики, один специалист из США).

12.2 Участие специалистов НИТИ в совещаниях, семинарах, конференциях, выставках, молодёжных форумах госкорпорации «Росатом»

№ п/п	Название мероприятия	Организатор мероприятия. Место проведения	Дата проведения	Участники от НИТИ
1	«Ведение бухгалтерского учёта в программе 1С: Бухгалтерия государственного учреждения 8»	ООО «Рациональное решение» г. Москва	29 января – 2 февраля	Гультяева О.А.
2	Обучение по модулю «Актуальные вопросы работы диссертационных советов»	УФК по г. СПб «РАНХиГС» г. Санкт-Петербург	2 – 4 февраля	Панкин А.М.
3	Семинар на тему: «Конфигурирование в системе «1С: Предприятие 8». Версия 8.3»	ООО «Рациональное решение» г. Москва	10 февраля – 21 апреля	Гультяева О.А.
4	Обучение на тему: «Монтаж и наладка оборудования Взлет»	АО «Взлет» г. Санкт-Петербург	12–16 марта	Большаков И.А. Вдовин С.А.
5	Участие в информационно-консультационном семинаре «Новые требования законодательства в области охраны окружающей среды»	ЧОУ ДПО «Экологический Учебный Центр» г. Санкт-Петербург	9 февраля – 31 декабря	Корзун Т.К.
6	Участие в стратегической сессии руководителей предприятий ЯОК	Кор. Академия Росатома г. Москва	6–17 февраля	Василенко В.А.
7	Участие в отраслевой конференции по реализации программы тиражирования типовой системы управления персоналом в организациях	РФ ЯЦ-ВНИИЭФ г. Саров	20–21 февраля	Политова Ю.А. Муцын Л.Б. Звонцов А.В.
8	Участие в научно-техническом совещании «О подготовке реактора ПИК к вводу в эксплуатацию»	НИЦ «Курчатовский институт» ПИЯФ г. Гатчина	26 февраля – 1 марта	Рассказов В.В.
9	Участие во Всероссийском практическом семинаре «Эффективная работа участников рынка электроэнергетики в условиях современного законодательства»	ООО « Информационный портал «Управление ЖКХ» г. Москва	14–15 марта	Сосин Р.В.
10	Участие в конференции «Гособоронзаказ-2018». Закупки, регламент, процедура, контроль»	ООО «Дифанс Медиа» г. Санкт-Петербург	16 марта	Чумаков Д.В. Додонова Т.Л. Барцагова И.В.

№ п/п	Название мероприятия	Организатор мероприятия. Место проведения	Дата проведения	Участники от НИТИ
11	Участие в семинаре «Защита интересов исполнителя ГОЗ при проверках органами прокуратуры РФ»	АНО «НИИ Оборонпром» г. Санкт-Петербург	27–28 марта	Иванченко М.А.
12	Участие в семинаре «Налогообложение и Арбитражная практика»	ООО «ИНСЭИ» г. Санкт-Петербург	4–5 апреля	Ярошенко А.В.
13	Участие в практическом мероприятии «Нормирование труда и обоснование трудоемкости продукции, поставляемой по ГОЗ. Обзор нового порядка определения состава затрат на продукцию, поставляемую по ГОЗ»	ООО «НИЦ ОПК» г. Москва	10–11 апреля	Лялюев Д.В.
14	Участие в отраслевой конференции работников ведомственных архивов и архивов организаций ГК «Росатом»	НМО ЧУ «Центратомархив» Московская обл.	10–12 апреля	Заритовская Е.Г.
15	Участие в МНТК «Сертификация ЭКБ-2018»	АО «РНИИ «Электронстандарт» г. Санкт-Петербург	18–20 апреля	Коршунов А.Ф.
16	Участие в НПК «Методы и средства технической защиты информации»	АНО ДПО «Техническая академия» г. Обнинск	24–26 апреля	Кириков А.В. Ларина Л.Е.
17	Участие в семинаре «Гозоборонзаказ: Реализация 275-ФЗ в свете изменений, внесенных 159-ФЗ и другими нормативными актами»	ЧОУ ДПО «ЦПК Лидер» г. Санкт-Петербург	23–24 апреля	Белозерцева Г.А
18	Участие в практическом семинаре – консультации «Новые принципы ценообразования в ГОЗ»	ООО «МЦРпК» г. Москва	23–24 апреля	Чумаков Д.В.
19	Участие в консультационном семинаре	АО «Шнейдер ЭлектриК» г. Москва	23–24 апреля	Тарелкин В.Ю.
20	Обучение на тему: «Монтаж и наладка оборудования Взлет	АО «Взлет» г. Санкт-Петербург	23–27 апреля	Тимофеев Р.И.
21	Участие в Международном форуме «АТОМЭКСПО-2018»	ГК «Росатом» г. Москва	14–16 мая	Новикова Л.В.
22	Участие в НТК «Теплофизика-2018»	АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» г. Обнинск	16–18 мая	Даниленко В.П. Вакарин А.В. Иорданский М.Ю.

№ п/п	Название мероприятия	Организатор мероприятия. Место проведения	Дата проведения	Участники от НИТИ
23	Участие в Международной конференции «Инновационные ядерные реакторы малой и сверхмалой мощности»	ИАТЭ «НИЯУ МИФИ» г. Обнинск	15–16 мая	Ельшин А.В.
24	«Раздельный учёт финансово-хозяйственной деятельности по гособоронзаказу. Порядок финансирования госконтрактов. Контроль за эффективностью расходования бюджетных средств Счетной палатой РФ»	ООО РФОП «Экономика и управление» г. Москва	15–16 мая	Безрук Е.Ю.
25	Участие в консультационном семинаре на тему «NSBASE4.2. Интерфейсы ISDN»	ООО «АСМ-Интеграция» г. Москва	14–18 мая	Исакина А.А. Ермолина М.В.
26	Участие в отраслевой конференции «Вопросы защиты информации в автоматизированных системах физической защиты»	ФГУП КЦ «Атомбезопасность» г. Санкт-Петербург	16–17 мая	Ларина Л.Е. Рейкин М.А.
27	Конференция руководителей подразделений по управлению персоналом предприятий ЯОК	ГК Росатом г. Казань	17–18 мая	Муцын Л.Б.
28	Отраслевой научно-практический семинар «Радиационная безопасность и охрана окружающей среды»	Генеральная инспекция г. Новосибирск	21–25 мая	Баев М.Н. Корноухов В.В. Жималина Е.П. Лелявин А.Н.
29	Участие в семинаре по экспортному контролю	АНО ДПО «Техническая Академия Росатома» г. Обнинск	22–24 мая	Крюков Ю.В.
30	Участие в семинаре «Правовая основа и порядок лицензирования вида деятельности в сфере ГОЗ»	ООО «НИЦ ОПК» г. Москва	24 мая	Кононова Е.В.
31	Всероссийская цифровая конференция ITSF	ООО «АйСиЭл Системные Технологии» г. Казань	24–25 мая	Макаров Д.В.
32	Участие в XX Российской конференции «Безопасность исследовательских ядерных установок»	АО «ГНЦ НИИАР» г. Димитровград	28–31 мая	Гаврилов А.Е. Руденко В.Л.
33	Участие в семинаре «Испытания – важная оценка соответствия оборонной продукции на всех этапах разработки, серийного производства и эксплуатации»	ФГУП «Рособоронстандарт» г. Москва	28–29 мая	Брусникин А.С.

№ п/п	Название мероприятия	Организатор мероприятия. Место проведения	Дата проведения	Участники от НИТИ
34	Участие в информационно-консультационном семинаре по теме: «Расчёт, обоснование и согласование базовых экономических нормативов с военным представительством Министерства обороны Российской Федерации и заказчиками продукции по государственному оборонному заказу»	АНО «НИИ ОБОРОНПРОМ» г. Москва	30–31 мая	Зарубина Т.В., Веснина Г. И.
35	Участие в консультационном семинаре «Монтаж, программирование и эксплуатация оборудования серии «МиниКом»	АО «Информтехника и Связь» г. Москва	28 мая – 8 июня	Калайда Р.В. Данилов Н.В.
36	Участие во 2-м НТС «Проблемы переработки и кондиционирования радиоактивных отходов при приведении критериям приемлемости»	АНО ДПО «Техническая академия Росатома» г. Обнинск	4–9 июня	Ткаченко В.С.
37	Участие в 8-м Всероссийском семинаре-совещании»	АНО ДПО «Техническая академия Росатома» г. Обнинск	4–9 июня	Баев М.Н.
38	Участие в семинаре на тему: «Проведение Комплексной оценки предприятий (организаций) ОПК в 2018 году: методология заполнения форм»	ФГУП «ЦНИИ «Центр» г. Москва	19 июня	Исаев Е.Г.
39	Участие во 2-м Всероссийском форуме «Эффективная работа и управление предприятиями электроэнергетики России»	ООО «Информационный портал «Управление ЖКХ»	27–29 июня	Макаренко Ю.И.
40	Участие в мероприятии (онлайн –трансляция) по теме: «Гособоронзаказ: проблемные вопросы нормирования, оплаты труда сотрудников умственного труда и АУП, обоснование трудоемкости продукции»	ООО РФОП «Экономика и управление» г. Москва	21–22 июня	Зарубина Т.В.
41	Участие в Конференции «КЧ-2018»	РОО СПб коллегия патентных поверенных	26–29 июня	Мацаева О.Н.
42	Участие в практическом семинаре «Электронизация закупок. Практика применения Закона о контрактной системе»	ООО «ЮРДЦ» г. Москва	20 июля	Ларионов А.В.

№ п/п	Название мероприятия	Организатор мероприятия. Место проведения	Дата проведения	Участники от НИТИ
43	Участие в семинаре «Современное состояние и тенденции развития системы стандартизации оборонной продукции. Основные положения Постановления правительства РФ №1567 от 30.12.2016»	ФГУП «ВНИИСОПиТ» г. Москва	20–21 августа	Королева А.В.
44	Участие в Международном военно-техническом форуме «Армия-2018»	ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны РФ Моск. Обл. г. Мытищи	21–26 августа	Петров Н.М.
45	Участие в семинаре по теме: «Практические вопросы реализации изменений в бухгалтерском и налоговом учёте НИОКР в 2018 году, в том числе в части предоставления субсидий ПП № 1312. Разъяснение со стороны контролирующих органов. Новый порядок расчёта расходов на НИОКР. Позаказный учёт затрат на выполнение ГОЗ. Практика прокурорского надзора за срыв НИОКР, ненадлежащие методы учёта затрат. Перспективы законодательного регулирования НИОКР. Судебная практика»	ООО «Импульс Консалт» г. Москва	23–24 августа	Титов С.А.
46	Участие в информационно-консультационном семинаре «Взаимосвязь бухгалтерского и раздельного учёта результатов финансово-хозяйственной деятельности при выполнении ГОЗ»	АНО «НИИ Оборонпром» г. Санкт-Петербург	13–14 ноября	Корчагина Е.Ф.
47	Участие в XI Международной конференции BUSINESS INFORMATION SECURITY SUMMIT 2018	ООО «Навыставке.РУ» г. Москва	14 сентября	Куприков П.В.
48	Участие в IX Российской конференции с международным участием «Радихимия-2018»	ООО «Месол» г. Санкт-Петербург	17–21 сентября	Епимахов В.Н. Орлов С.Н.
49	Участие в тренинге «Программы кластера. Правовые и юридические вопросы. Эффективное управление имуществом в атомной отрасли»	АНО «Корпоративная Академия Росатома» г. Москва	27–28 сентября	Кириченко Е.В.

№ п/п	Название мероприятия	Организатор мероприятия. Место проведения	Дата проведения	Участники от НИТИ
50	Участие в семинаре «Зарплата и «зарплатные» налоги-2018»	ИПБ «России» г. Санкт-Петербург	3 октября	Новикова Л.В.
51	Участие в научно-практической конференции «Обеспечение единства измерений в области использования атомной энергии»	АНО ДПО «Техническая академия Росатома» г. Сочи	1–4 октября	Волков А.Ю.
52	Участие в отраслевой конференции «Актуальные вопросы технического регулирования в области использования атомной энергии»	АНО ДПО «Техническая академия Росатома» г. Сочи	1–4 октября	Степанов И.Г. Щипалкин О.Н.
53	Участие в МНТК «НИКИЭТ-2018»	АО «НИКИЭТ» г. Москва	2–5 октября	Ельшин А.В. Грицай А.С. Альмяшев В.И.
54	Участие в конференции «Кибербезопасность – вызовы времени»	ООО «Фалконгейз» г. Санкт-Петербург	5 октября	Корнеев К.Б.
55	Участие в работе V Всероссийского симпозиума «Разделение и концентрирование в аналитической химии и радиохимии»	ФГБОУ ВО «КубГУ» г. Туапсе	7–13 октября	Цапко Ю.В.
56	Участие в V международной научно-технической конференции «ТЖМТ-2018»	АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» г. Обнинск	08–10 октября	Иорданский М.Ю. Даниленко В.П. Вакарин А.В.
57	Участие в НТК « Проблемы применения и верификации CDF кодов в атомной энергетике»	АО «ОКБМ Африкантов» г. Нижний Новгород	9–10 октября	Ефимов В.К. Кастерин Д.С. Чепилко С.С
58	Участие в семинаре «Раздельный учёт финансово-хозяйственной деятельности по ГОЗ согласно Постановлению Правительства № 543 от 04.05.2018. Порядок финансирования госконтрактов. Контроль за эффективностью расходования бюджетных средств»	ООО РФОП «Экономика и управление» г. Москва	9–10 октября	Чумаков. Д.В.
59	Участие в отраслевой сессии «Выполнение отраслевых требований и стандартов информационной безопасности»	АНО ДПО «Техническая академия Росатом» г. Обнинск	16–18 октября	Куприков П.В. Ларина Л.Е.
60	Участие в консультационном-практикуме «Правильная эксплуатация оборудования лабораторий ЛВИ HVT-гарантия безопасности пользователя»	ООО «ЯЭМЗ» г. Ярославль	23–25 октября	Корнилов Г.Н.

№ п/п	Название мероприятия	Организатор мероприятия. Место проведения	Дата проведения	Участники от НИТИ
61	Участие в Межотраслевой научно-технической конференции «КЯЭ-2018»	АО «ОКБМ Африкантов» г. Нижний Новгород	14–15 ноября	Иванов А.А. Моисеев К.В. Иорданский М.Ю. Мирошниченко И.В. Змитродан А.А. Бессонов Д.Ю.
62	Участие в консультационном семинаре «Новый порядок ведения кассовых операций: правила, нарушения, контроль»	ООО «Финэк Аудит» г. Санкт-Петербург	15 ноября	Юрина Л.М.
63	Участие в XXV международном ежегодном семинаре «Спектрометрический анализ. Аппаратура и обработка данных на ПЭВМ»	АНО ДПО «Техническая академия Росатома» г. Обнинск	19–23 ноября	Киреев В.Ф.
64	Участие в конференции для бизнес-пользователей и ИТ-специалистов Microsoft SharePoinDay	X-Com Системный интегратор г. Санкт-Петербург	22 ноября	Кравец Е. В.
65	Участие в форуме ИТ-профессионалов	X-Com Системный интегратор г. Санкт-Петербург	22 ноября	Бекиш Д.А.
66	Участие в консультационном семинаре по работе с программой 1С	ООО «Точка роста» г. Санкт-Петербург	9-13/20-29 ноября	Лоренц Д.В.
67	Участие в научно-практическом семинаре «Обеспечение и внутренний контроль безопасности и качества в организациях Госкорпорации «Росатом»	АНО ДПО «Техническая академия Росатома» г. Санкт-Петербург	26–30 ноября	Котенков И.В.
68	Участие в семинаре для специалистов служб автоматизации и метрологических служб атомных электростанций, предприятий ядерного топливного цикла, проектных и научно-исследовательских организаций	ООО НПП «Элемер» г. Москва	27–29 ноября	Орлов И.С. Тихонов В.Г.
69	Участие во Всероссийской научно-технической конференции «Нейтроника-2018»	АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» г. Нижний Новгород	28–30 ноября	Зинатуллин Р.Э. Ельшин А.В. Кузнецов А.Н.

№ п/п	Название мероприятия	Организатор мероприятия. Место проведения	Дата проведения	Участники от НИТИ
70	Участие в конгрессе профессиональных бухгалтеров и аудиторов по вопросам МСФО и бюджетному учёту	НП «ИПБ России» г. Москва	29–30 ноября	Новикова Л.В.
71	Участие в семинаре (онлайн) «Внедрение интегрированных подходов «технолог-нормировщик-военный представитель» в техническое нормирование для обоснования трудоемкости продукции оборонного назначения при выполнении ГОЗ. Особенности раздельного учёта рабочего времени и обоснование загрузки работника и оборудования при диверсификации производства»	ООО ИД «Отечественные товаропроизводители» г. Москва	29–30 ноября	Зарубина Т.В.
72	Участие в отраслевом семинаре-совещании по совершенствованию финансового контроля при обеспечении организаций и предприятий Госкорпорации «Росатом»	АНО «Корпоративная академия Росатома» г. Москва	4–5 декабря	Колосовская Е.Л.
73	Участие в бизнес-форуме по вопросам вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии (ВЭОИАЭ)	АО «Хилти Дистрибьюшн Лтд» совместно с Госкорпорацией «Росатом» г. Москва	6 декабря	Прохоркин С.В.
74	Участие в онлайн семинаре «Раздельный учёт финансово-хозяйственной деятельности по гособоронзаказу согласно Постановлению Правительства № 543 от 04.05.2018. Порядок финансирования госконтрактов. Контроль за эффективностью расходования бюджетных средств»	ООО РФОП «Экономика и Управление» г. Москва	6–7 декабря	Барцагова И.Г. Борисова О.В.

Межотраслевой научно-технический семинар «МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЯЭУ»

В июне 2018 года в соответствии с планом научных и научно-технических мероприятий Госкорпорации «Росатом» в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» проведён межотраслевой научно-технический семинар «Моделирование динамики ЯЭУ» (разработка программных средств, верификация, оценка точности расчёта).

В работе семинара приняли участие более 100 специалистов из 22 предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом», Минпромторга, Ростехнадзора, РАН, высших учебных заведений. Семинар проводился по следующим тематическим направлениям:

- разработка математических моделей и программно-технических комплексов;
- экспериментальные и расчётные исследования динамических процессов ЯЭУ;
- верификация программных средств;
- оценка погрешностей расчёта.

На семинаре в режиме пленарных заседаний заслушано 40 и обсуждено 6 стендовых докладов.

В соответствии с поручением секции НТС Госкорпорации «Росатом», на семинаре рассмотрены вопросы отработки комплексной системы управления техническими средствами энергоблока ядерной энергодвигательной установки с использованием комплексных математических моделей.

Учитывая актуальность тематики по результатам работы Семинара принято Решение с рекомендациями, направленными на дальнейшее совершенствование методов и средств математического моделирования при исследовании нейтронно-физических и теплогидравлических процессов на объектах с ЯЭУ.

12.3 Научно-технические издания, публикации

В соответствии с планом работ на 2018 год отделом научно-технической информации были отредактированы и подготовлены к печати следующие издания.

Отчёт об основных исследовательских работах, выполненных в 2017 году

Научное-техническое издание

УДК-621.039.577.056

ББК-31.46

ГОДОВОЙ ОТЧЁТ за 2017 – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2016. – 245 с.

Четырнадцатое официальное издание годового отчёта ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» включает в себя основные результаты научно-технической и производственной деятельности института за 2017 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 (11) – Санкт-Петербург: ООО Издательство «ВВМ», 2018. – 74 с.

В рубрике «Дискуссионные вопросы развития атомной энергетики» редакция публикует статью «О необходимости создания энергоблоков с корпусными кипящими реакторами (ВВЭРК) для отечественной атомной энергетики», подготовленную с участием А. Я. Благовещенского – ветерана атомной отрасли, представителя ВМФ, учёного, Заслуженного деятеля науки Российской Федерации, посвятившего свою жизнь проблемам эффективного развития транспортной и стационарной атомной энергетики.

В статье анализируется ситуация, когда после Чернобыльской аварии в стране полностью прекращено создание одноконтурных реакторных установок. Анализируя современный успешный зарубежный опыт эксплуатации более 100 энергоблоков с корпусными кипящими реакторами (BWR), а также мировой опыт разработки новых проектов BWR средней и малой мощности, автор аргументированно отстаивает мнение о том, что отечественная наука и промышленность сегодня достаточно подготовлены для создания перспективных одноконтурных ядерных энергетических установок, которые в ряде случаев могут являться более предпочтительными по сравнению с другими вариантами решения актуальных энергетических задач.

Редколлегия научно-технического сборника «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок», обращаясь к специалистам атомной отрасли и всем заинтересованным специалистам, предлагает продолжить дискуссию по данной проблематике и подготовить статьи и информационные сообщения для публикации на страницах научно-технического сборника.

В рубрике «Исследование динамики и создание технологии испытаний объектов с ЯЭУ» публикуется статья «Экспериментальная отработка методик проверки функционирования и технического состояния рабочих органов компенсации реактивности на стенде-прототипе

КВ-1» с результатами реализации новых подходов к оценке технического состояния рабочих органов компенсации реактивности в составе системы управления и защиты паропроизводящей установки ЯЭУ транспортного типа, позволяющими выполнять работы по продлению назначенных срока службы и ресурса приводов КГ и выемного экрана ПГБ без проведения большого объёма демонтажных работ и разгерметизации первого контура.

В рубрике «Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ» публикуются статьи «Соотношение эффективности органов регулирования как характеристика изменения неравномерности распределения нейтронов в активной зоне реактора» и «Моделирование сопряженного теплообмена методом вложенной границы в РК КОРСАР/CFD» с результатами, актуальными для обоснования безопасности и проведения расчётного моделирования динамики нейтронно-физических и теплогидравлических процессов ЯЭУ, а также верификации программных расчётных кодов, используемых для сопровождения и эксплуатации реакторных установок различного типа.

В рубрике «Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования» публикуется статья «Зависимость равномерной коррозии конструкционных материалов в водных контурах АЭС от термодинамических факторов равновесия. (Часть 1. Сплавы на основе железа)».

В статье представлен методологический подход к прогнозированию коррозии конструкционных материалов – сплавов на основе железа – в водных контурах АЭС, актуальный при проектировании систем и элементов систем АЭС.

В рубрике «Исследование процессов при тяжелых авариях на объектах атомной энергетики» представлена статья «Экспериментальное исследование влияния на критический тепловой поток слоя из наночастиц, формирующегося при кипении ZrO_2/H_2O наножидкости».

В статье приведены результаты экспериментов по исследованию процесса образования слоя из наночастиц на обогреваемой поверхности в ходе кипения водной дисперсии наночастиц ZrO_2 (наножидкости) и влияния сформированного слоя на величину критического теплового потока. Определено влияние параметров кипения на образование слоя из наночастиц на поверхности нагрева и свойств образованного слоя на величину критического теплового потока. Полученные данные могут быть использованы при разработке новых технологий повышения эффективности установок кипящего типа, в том числе, и в атомной энергетике.

Вып. № 2 (12) - Санкт-Петербург: ООО Издательство «ВВМ», 2018. - 80 с.

В рубрике «Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ» публикуется статья

«Применение метода анализа неопределённостей и чувствительности для исследования устойчивости ядерного реактора» с результатами описания отработанной технологии расчётных исследований гидродинамической неустойчивости ядерного реактора на основе метода анализа неопределенности и чувствительности и сопряженной нейтронно-физической и теплогидравлической модели активной зоны. Представленные в статье результаты актуальны для оценки эффективности технических решений, которые могут быть приняты для снижения вероятности проявления гидродинамической неустойчивости при эксплуатации реактора. Статья подготовлена на основе доклада, представленного на семинаре «Моделирование динамики ЯЭУ» (разработка программных средств, верификация, оценка точности расчёта).

В рубрике «Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования» публикуются статьи «Зависимость равномерной коррозии конструкционных материалов в водных контурах АЭС от термодинамических факторов равновесия. Часть 2. Сплавы на основе циркония, алюминия и меди» и «On-line контроль содержания трития в водных теплоносителях реактора ПИК на базе проточного радиометра WILMA».

В статье «Зависимость равномерной коррозии конструкционных материалов в водных контурах АЭС от термодинамических факторов равновесия. Часть 2. Сплавы на основе циркония, алюминия и меди» продолжено, начатое в предыдущем выпуске сборника, описание методологического подхода к прогнозированию коррозии конструкционных материалов применительно к водным контурам АЭС, актуальное при проектировании систем и элементов систем АЭС.

В статье «On-line контроль содержания трития в водных теплоносителях реактора ПИК на базе проточного радиометра Wilma» впервые представлены результаты испытаний проточного радиометра Wilma, которые свидетельствуют об эффективности использования радиометра Wilma при создании систем автоматического контроля трития в тяжеловодных теплоносителях ЯЭУ.

В рубрике «Исследование процессов при тяжелых авариях на объектах атомной энергетики» вниманию читателей представлены статьи «Влияние термоградиентных условий на физико-химическое взаимодействие расплава субокисленного кориума и корпусной стали при удержании расплава в корпусе реактора» и «Исследование поведения покрытия контейнмента на основе органосиликатной композиции ОС 51-03 при тяжелых авариях на АЭС».

Результаты первой статьи актуальны в связи с тем, что внутрикорпусное удержание расплава рассматривается как одна из приоритетных стратегий управления тяжёлыми авариями в рамках международного проекта «IVMR» (внутрикорпусное удержание расплава) Европейской программы «Horizon 2020».

Результаты, представленные во второй статье, позволяют прогнозировать образование дебриса из частиц покрытия в охлаждающих растворах при тяжелых авариях на АЭС и актуальны для обоснования безопасности применения покрытия на основе органосиликатной композиции ОС-51-03 при проектировании АЭС.

Вып. № 3 (13) - Санкт-Петербург: ООО Издательство «ВВМ», 2018. - 88 с.

В данном выпуске периодического рецензируемого научно-технического сборника «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок» продолжена публикация статей, подготовленных на основе докладов участников межотраслевого научно-технического семинара «Моделирование динамики ЯЭУ» (разработка программных средств, верификация, оценка точности расчёта), проведенного в июне 2018 года на базе ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова» в соответствии с планом научных и научно-технических мероприятий Госкорпорации «Росатом» на 2018 год.

В рубрике «Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ» публикуются статьи с результатами верификации и использования расчётных кодов для математического моделирования процессов, актуальных для безопасности энергоблоков АЭС и объектов использования атомной энергии.

В статье «Анализ области применения распределенной нейтронно-физической модели ТВС в ПК КОРСАР/ГП» приведены описание и анализ области применения разработанной ранее потвэльной модели ТВС в программном комплексе КОРСАР/ГП. Представлены результаты моделирования аварийного режима «Выброс ОР СУЗ». В рамках анализа безопасности получена оценка параметров твэлов с использованием модели «горячего канала». На основе потвэльной модели ТВС приведены данные по оценке максимальной мощности твэла, получаемой в аварии класса RIA (reactivity insertion accident).

В статье «Об оценке погрешностей расчётов, выполняемых при обосновании безопасности объектов использования атомной энергии», представлены результаты анализа отечественной и зарубежной практики по оценке погрешностей и неопределённостей результатов расчётов, полученных на основе программных средств и используемых для выполнения анализа безопасности объектов использования атомной энергии. Приведены рекомендации по оценке погрешности результатов расчёта параметров процессов, актуальные при верификации и валидации используемых расчётных кодов.

В статье «Расчётные исследования аварийного теплоотвода ВВЭР автономной термосифонной СПОТ первого контура» приведены результаты расчётного моделирования аварийного отвода остаточного тепловыделения автономной термосифонной системой пассивного отвода остаточного тепловыделения (СПОТ).

В статье «О сопоставимости данных по уносу капель в дисперсно-кольцевом пароводяном потоке, полученных в экспериментах, выполненных по разным методикам» представлен анализ экспериментальных работ разных авторов по изучению срыва жидкости с поверхности пленки в дисперсно-кольцевом пароводяном потоке в трубе. Выполнено сравнение опытных данных, полученных по разным методикам, и получены обобщающие зависимости для расчёта величины среднего безразмерного уноса капель в необогреваемых и обогреваемых каналах.

В рубрике «Исследование процессов при тяжелых авариях на объектах атомной энергетики» вниманию читателей представлена статья «Взаимодействие металлического расплава, содержащего цирконий и уран, с бетонным жертвенным материалом». В статье приведены результаты экспериментальных исследований взаимодействия бетонного жертвенного материала устройства локализации расплава кориума с металлическим расплавом, содержащим цирконий и уран, экспериментальные данные по температуре активации и кинетике взаимодействия сопоставлены с аналогичными данными для керамического жертвенного материала.

В рубрике «Обеспечение экспериментальных исследований» представлена статья «Перспективы использования методологии математического моделирования при вводе в эксплуатацию энергоблоков АЭС с ВВЭР на примере физических и динамических испытаний». В статье анализируется современное состояние и особенности проведения физических и динамических испытаний систем и оборудования на этапе пусконаладочных работ при вводе в эксплуатацию энергоблоков АЭС с ВВЭР. Обсуждается необходимость внедрения в практику пусконаладочных работ методологии моделирования и перспективы решения этой задачи за счёт использования специализированных программно-технических комплексов. Акцентируется внимание на необходимость создания банка экспериментальных данных, полученных при проведении физических и динамических испытаний.

Вып. № 4 (14) - Санкт-Петербург: ООО Издательство «ВВМ», 2018. - 95 с.

В рубрике «Стендовые испытания транспортных ЯЭУ» публикуется статья «Концепция разработки и результаты испытаний двухступенчатой активной зоны с каналами «дожигания». Представленные в статье концепция и результаты испытаний являются основой для обоснования работоспособности ТВС и ресурсной надежности перспективных активных зон корабельных ядерных энергетических установок с существенной долей режима естественной циркуляции теплоносителя в моделях эксплуатации. Опубликованные в статье результаты актуальны и представляют интерес для проектирования, создания и проведения испытаний перспективных ЯЭУ транспортного назначения.

В рубрике «Исследование динамики и создание технологий испытаний объектов с ЯЭУ» публикуется статья «Результаты исследований при эксплуатации наземных стендов-прототипов по обоснованию и повышению радиационной безопасности транспортных ЯЭУ». В статье представлены результаты экспериментальных исследований по обоснованию и повышению радиационной безопасности, полученные при эксплуатации наземных стендов-прототипов ЯЭУ транспортного типа в ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова», актуальные для дальнейшего повышения радиационной безопасности действующих ЯЭУ транспортного типа.

В рубрике «Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ» продолжена публикация статей, подготовленных на основе докладов участников межотраслевого научно-технического семинара «Моделирование динамики ЯЭУ» (разработка программных средств, верификация, оценка точности расчёта), проведённого в июне 2018 года на базе ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова» в соответствии с планом научных и научно-технических мероприятий Госкорпорации «Росатом» на 2018 год.

В статье «Современное состояние и тенденции развития математического моделирования теплофизических процессов на АЭС» представлен анализ современного состояния и тенденций развития математического моделирования теплофизических процессов на АЭС, обсуждается методология проведения теплогидравлических исследований аварийных режимов, изложены сведения о состоянии и развитии системных теплогидравлических кодов, рассмотрены направления дальнейшего развития моделирования теплогидравлики ЯЭУ.

В статье «Математическая модель для расчётного обоснования безопасности реакторных установок ВВЭР в режимах с регулированием частоты энергосети» рассмотрена математическая модель для расчётного обоснования безопасности РУ ВВЭР в режимах с изменением внешней нагрузки. На примере расчётов двух исходных событий с вводом положительной реактивности, приведены результаты апробации предложенной модели для режимов нормированного первичного регулирования частоты электросети. В статье «Экспериментальные исследования на стенде ПСБ-ВВЭР теплогидравлики аварийных режимов на АЭС с ВВЭР-ТОИ» представлены полученные на крупномасштабном интегральном теплофизическом стенде ПСБ-ВВЭР результаты экспериментов по моделированию для АЭС с ВВЭР-ТОИ трёх разных типов аварий, возникающих при работе пассивных систем безопасности и наложении полной потери источников переменного тока.

Приведённые в статье экспериментальные данные актуальны для оценки эффективности пассивных систем безопасности, предусмотренных в новых проектах ВВЭР, с точки зрения выполнения проектных функций охлаждения активной зоны.

В рубрике «Исследование процессов при тяжелых авариях на объектах атомной энергетики» вниманию читателей представлена статья «Характеристики высокотемпературного окисления и теплогидравлики толерантных твэлов в условиях LOCA». В статье приведены экспериментальные и расчётные данные по характеристикам окисления образцов оболочек твэлов из сплава Э110Г с защитным хромовым покрытием и молибдена марки МЧВП в условиях максимальной проектной и запроектной аварии с потерей теплоносителя. Полученные данные актуальны для разработки новых видов оболочек для устойчивого к авариям топлива.

Периодическое издание

ОТЧЁТ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Информационно-статистическое издание

УДК-621.039.577.056

ББК-31.46

Отчёт по экологической безопасности за 2017 – Сосновый Бор:

ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2018. – 68 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.

Монографии и статьи в научных периодических изданиях

1. Чепилко С.С. Моделирование сопряженного теплообмена методом вложенной границы в РК КОРСАР/CFD / С.С. Чепилко, Ю.В. Юдов, И.Г. Данилов // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2018. – № 1 (11). – С. 30-44.

2. Применение метода анализа неопределённостей и чувствительности для исследования устойчивости ядерного реактора / В.Г. Артемов, Л.М. Артемова, В.Г. Коротаев, П.А. Михеев // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2018. – №2 (12). – С. 9-20.

3. Экспериментальное исследование влияния на критический тепловой поток слоя из наночастиц, формирующегося при кипении ZrO_2/H_2O наножидкости / В.Б. Хабенский, А.Л. Сироткина, В.И. Альмяшев, Е.Д. Федорович, В.В. Сергеев, И.К. Боричева, В.В. Гусаров // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2018. – №1 (11). – С. 55-69.

4. Влияние термоградиентных условий на физико-химическое взаимодействие расплава субокисленного кориума и корпусной стали при удержании расплава в корпусе реактора / В.Б. Хабенский, В.С. Грановский, В.И. Альмяшев, С.А. Витоль, Е.В. Крушинов, С.Ю. Котова, А.А. Сулацкий, Ю.А. Мигров, В.В. Гусаров, С.В. Бешта // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2018. – №2 (12). – С. 42-65.

5. Взаимодействие металлического расплава, содержащего цирконий и уран, с бетонным жертвенным материалом / В.Б. Хабенский, В.И. Альмяшев, А.А. Сулацкий, Е.В. Крушинов, С.А. Витоль, С.Ю. Котова, Е.К. Каляго, В.Р. Булыгин, Е.М. Беляева, В.В. Гусаров, А.А. Комлев // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2018. – № 3 (13). – С. 53-72.

6. Батягин И.Е. Экспериментальная отработка методик проверки функционирования и технического состояния рабочих органов компенсации реактивности на стенде-прототипе КВ-1 / И.Е. Батягин, А.Л. Дмитриев // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2018. – № 1 (11). – С. 18-23

7. Результаты исследований при эксплуатации наземных стендов-прототипов по обоснованию и повышению радиационной безопасности транспортных ЯЭУ / Н.Г. Андреев, В.Н. Вавилкин, С.П. Довбуш, М.Н. Баев, В.Г. Ильин, И.С. Орлёнков, О.Н. Саранча, Р.В. Червяков, А.Л. Митенков // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2018. – № 4 (14). – С. 20-30

8. Юдов Ю.В. Численная реализация трёхмерной модели теплогидравлики на основе метода вложенной границы в расчётном коде КОРСАР/CFD / Ю.В. Юдов, С.С. Чепилко, И.Г. Данилов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Математическое моделирование физических процессов. – 2018. № 4. – С. 46-56.

9. Василенко В.А. Калибратор реактивности / В.А. Василенко, А.М. Панкин, К.В. Скворцов // Атомная энергия. – 2018. – Т. 125. № 3. – С. 141-145.

10. Ельшин А.В. Методическое и аппаратное обеспечение измерений реактивностных характеристик реакторов стендов-прототипов ядерных энергетических установок транспортного назначения / А.В. Ельшин, Д.Н. Жуковский // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2018. – № 1. – С. 17-26.

11. Артемов В.Г. Верификация потвэльной модели программы сапфир_95&rc_ВВЭР при моделировании выгорания загрузок энергоблоков ВВЭР / В.Г. Артемов, А.Н. Кузнецов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. 2018. № 1. – С. 35-46.

12. 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. – № 1. – С. 27-34.

13. Совершенствование способа контроля радионуклидов йода в газовых выбросах объектов атомной энергетики / В.Н. Епимахов, Л.Н. Москвин, В.В. Четвериков, М.С. Олейник, С.Г. Мысик // Радиохимия, 2018. – № 3. – Т 60. – С. 265-268.

14. Червяков Р.В. Сравнительный анализ характеристик гамма-спектрометров отечественных и зарубежных производителей / Р.В. Червяков, М.Н. Баев // АНРИ. 2018. – № 1 (92). – С. 14-21.

15. Панкин А.М. Техническое диагностирование объектов атомной техники/ А.М. Панкин // Труды международного симпозиума надежность и качество 2018. Т. 1. С. 91-92.

16. Гурский В.С. Проточно-инжекционное определение борной кислоты с кондуктометрическим детектированием / В.С. Гурский, Е.Ю. Харитонова // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2018. – № 12. – Т 84. – С. 20-24.

17. Епимахов В.Н. Комплексный радиохимический анализ природных вод и водных сбросов АЭС. Особенности метода радиохимического анализа стронция-90 / В.Н. Епимахов, Л.Н. Москвин, Е.Б. Панкина // Радиохимия. – 2018. – Т 60. – № 3. – С. 261-264.

18. Буряков И.А. История возникновения и развития спектрометрии приращения ионной подвижности / И.А. Буряков // Журнал аналитической химии, 2018. – 12. – Т 73. – С. 941-948.

19. Гурский В.С. Исследование процесса каталитического окисления растворенного водорода с использованием палладированных сорбентов / В.С. Гурский, И.М. Яснев // Журнал прикладной химии, 2018. – №3. – Т 91. – С. 397-401.

20. Орлов С.Н. Влияние гидразина на перераспределение отложений продуктов коррозии в первом контуре транспортных ЯЭУ на остановленном реакторе / С.Н. Орлов, А.А. Змитродан, С.Г. Мысик // Теплоэнергетика, 2018. – № 4. – С. 54-59.

21. Экспериментальное изучение сорбции радионуклидов в трещиноватых породах и расчёт фактора сорбционной задержки при их миграции / К.Б. Розов, В.Г. Румынин, Е.Б.Панкина, А.М. Никуленков, М.П. Глухова, Н.В. Черноморова // Подземные воды востока России, 2018. – С. 400-403.

В отчётном году институтом подготовлено и подано шесть заявок на изобретения, получено четыре патента на изобретения, один патент на полезную модель, один патент на промышленный образец, одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Подготовлены и поданы заявки на изобретения:

1. Способ отверждения жидких радиоактивных отходов / *Епимахов В.Н., Олейник М.С., Прохоркин С.В., Ткаченко В.С., Смирнов В.Д., Кондратьев В.А.*
2. Способ переработки маломинерализованных средне- и низкоактивных жидких радиоактивных отходов / *Епимахов В.Н., Олейник М.С., Алешина Н.И.*
3. Способ комплексного контроля радионуклидов в выбросах ядерных энергетических установок / *Епимахов В.Н., Олейник М.С., Саранча О.Н., Ильин В.Г.*
4. Устройство локализации кориума ядерного реактора водо-водяного типа / *Альмяшев В.И., Василенко В.А., Витоль С.А., Гусаров В.В., Крушинов Е.В., Пешев Е.П., Сулацкий А.А., Филин Р.Д., Хабенский В.Б., Грановский В.С.*
5. Способ переработки мало- и среднеминерализованных низкоактивных жидких радиоактивных отходов и устройство для его осуществления / *Смирнов В.Д., Блинов С.В., Гордеев Е.В., Епимахов В.Н., Козин М.И., Кондратьев В.А., Мирошниченко И.В., Погибелев А.Е., Прохоркин С.В., Ткаченко В.С.*
6. Способ поверки калибратора реактивности / *Дашук С.П., Калининский В.С.*

Получены патенты на изобретения:

1. № 2651799. Способ изготовления ядерного топлива / *Альмяшев В.И., Беляева Е.М., Близнюк В.Г., Булыгин В.Р., Витоль С.А., Гусаров В.В., Каляго Е.К., Котова С.Ю., Крушинов Е.В., Лысенко А.В., Раба Б.О., Сулацкий А.А., Хабенский В.Б., Шевченко Е.В.*
2. № 2653163. Способ калибровки счётного канала реактиметра в импульсно-токовом режиме / *Дашук С.П.*
3. № 2669202. Способ отверждения жидких радиоактивных отходов / *Епимахов В.Н., Олейник М.С., Прохоркин С.В., Ткаченко В.С., Смирнов В.Д., Кондратьев В.А.*
4. № 2669013. Способ переработки маломинерализованных средне- и низкоактивных жидких радиоактивных отходов / *Епимахов В.Н., Олейник М.С., Алешина Н.И.*

Получен патент на полезную модель:

№ 178713. Устройство для обнаружения в отпечатках пальцев следов подлежащих котнролю веществ / *Буряков И.А., Буряков Т.И., Козлов Н.Н., Мацаев В.Т., Погибелев А.Е., Фильчяаков Ив. Ф., Фильчаков Ил. Ф.*

Получен патент на промышленный образец:

№ 109061. Устройство контроля доступа/ *Буряков И.А., Буряков Т.И., Козлов Н.Н., Мацаев В.Т., Погибелев А.Е., Млотек В.Н., Фильчяаков Ив. Ф., Фильчаков Ил. Ф.*

Получено свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

№ 2018611792. САПФИР_95&RC-РБМК / *Артемов В.Г., Артемова Л.М., Ельшин А.В., Иванов А.С., Карпов А.С., Пискарев А.В.*

12.4 Конкурсы научных и инженерных работ

14 февраля 2019 года ко дню рождения академика А.П. Александрова подведены итоги ежегодного конкурса лучших научных и инженерных работ НИТИ, традиционно проводимого с целью повышения научного уровня, эффективности и качества выполняемых в институте разработок и исследований, развития творческой инициативы и распространения передового опыта.

Лучшими научными работами за 2018 год признаны

I место

«Обобщенный анализ результатов испытаний установки «Каньон-С» на этапах 1-3».

Авторы: Костров И.В., Погорелов В.С., Сулыбкин С.В. (ОДИ), Артемов В.Г. (ОНФИ), Грановский В.С. (ОТФИ).

II место

«Разработка математической модели динамики изделия «Каньон-К» в составе ПК КРАБ-Р».

Авторы: Калинин И.С., Калинина Е.В., Костров И.В., Николаев А.И., Сулыбкин С.В. (ОДИ).

Лучшими инженерными работами за 2018 год признаны:

I место

«Полномасштабный и функциональный тренажёры для подготовки персонала УАЛ пр. 22220».

Авторы: Бырков И.А., Дербуков Е.И., Ипатов А.В., Корчагин В.А., Кутьин А.В., Ларионов Ю.И., Окунцова О.А., Тепляков Д.Б., Шаленинов А.А., Шаталов В.В. (ОДИ).

II место

«Подготовка и проведение контрольного физического пуска критического стенда «СКИФ».

Авторы: Борисов Р.В., Ваховский Р.С., Гончаров В.С., Панфилов В.Ф., Филевский Д.Н. (ОИКАР), Виногоров Н.А., Дашук С.П., Мартюшев Д.А. (ОНФИ), Беспалов А.В. (ОДИ), Новиков И.И. (ОРБ).

III место

1. «Обоснование и экспериментальное подтверждение работы ППУ типа ОК-650 при особом положении рабочих органов СУЗ».

   Авторы: Тригубов Д.И., Пукалов К.П., Дмитриев А.Л., Ушатинский И.В., Батягин И.Е. (ОКЭЭР).

2. «Проведение внутриконтурной дезактивации основных систем изделия «Каньон-С».

   Авторы: Костин М.М., Фоменков Р.В., Зверев А.А., Гнездиль А.А. (ОХТИ), Лубинец Л.В., Тараканов Н.Ю., Поповичев Е.В., Малоок Л.Н., Пятаев Н.В. (ОИКАР), Новиков И.И. (ОРБ).

Всероссийский фестиваль НАУКИ 2018

В октябре 2018 года Сосновоборский городской округ во второй раз принял участие во Всероссийском фестивале науки, главной целью которого является популяризация науки среди жителей России. Организатором Фестиваля является министерство образования и науки Российской Федерации. Основная тема Фестиваля в 2018 году – «Большая наука».

В рамках Фестиваля проведена выставка и организованы публичные научно-популярные лекции с участием специалистов институтов, предприятий и организаций города. Выставка инноваций науки и техники приурочена к 45-летию города Сосновый Бор.

От ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» на Фестивале представлены буклеты по основной деятельности института, опубликованные экземпляры Годовых отчётов предприятия, Отчётов по экологической безопасности, выпусков рецензируемого научно-технического сборника «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок» и доклад-презентация о деятельности отдела исследований тяжёлых аварий «Новые материалы, устройства и технологии в обеспечение безопасности объектов атомной энергетики».

Посещение ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» руководителями Госкорпорации «Росатом»

Генеральный директор ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» В.А. Василенко, генеральный директор Госкорпорации «Росатом» А.Е. Лихачёв, председатель Совета директоров АО «Концерн Росэнергоатом» А.М. Локшин

13. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ

13.1 Основные итоги деятельности института за 2018 год

13.2 Деятельность профсоюзной организации НИТИ в 2018 году

13.3 Участие в общественной жизни предприятия

13.4 Поощрения, награды

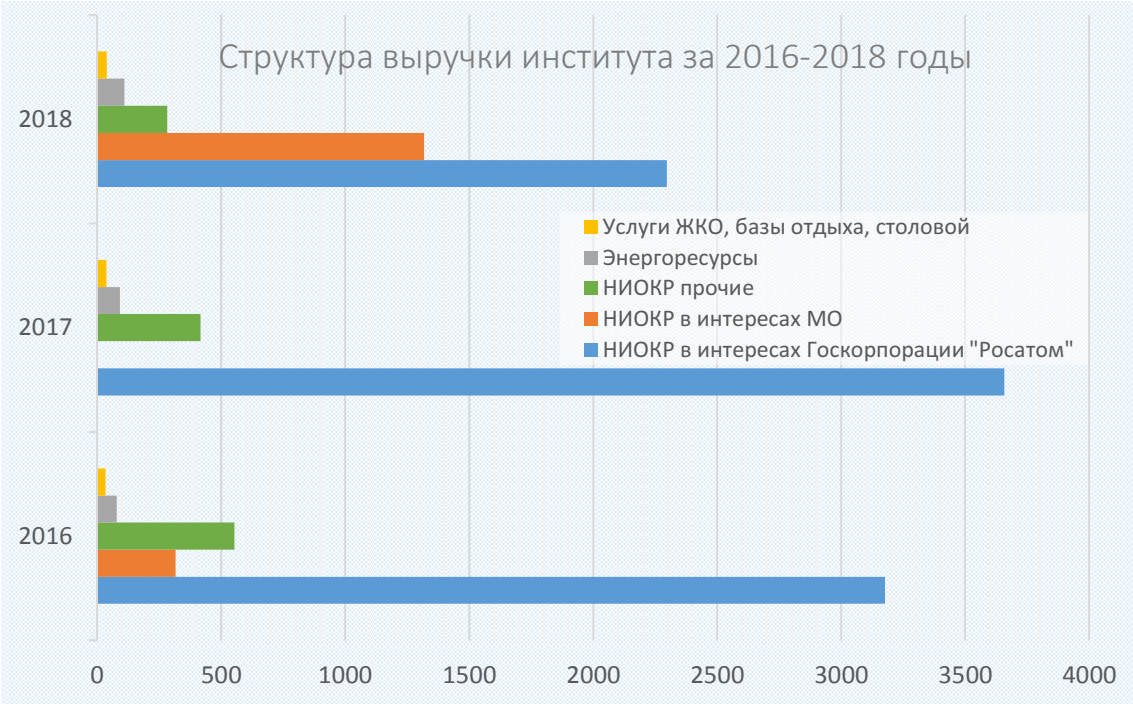
13. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ

13.1 Основные итоги деятельности института за 2018 год

Основной деятельностью института, который является единственной в России экспериментальной базой по отработке на стендах-прототипах перспективных корабельных ЯЭУ, остается выполнение государственного заказа – 89,3 % от общего объёма работ.

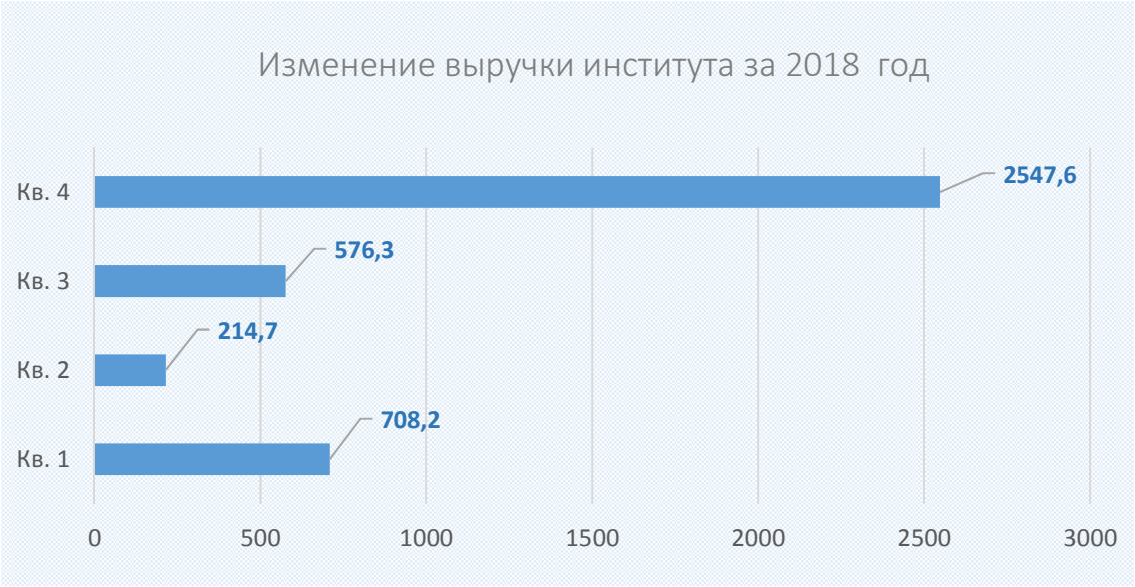
Экономическое состояние института в 2018 году оставалось стабильным. Признаков банкротства ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» не имеет. По итогам 2018 года убыток до налогообложения составил – 71,0 млн. рублей.

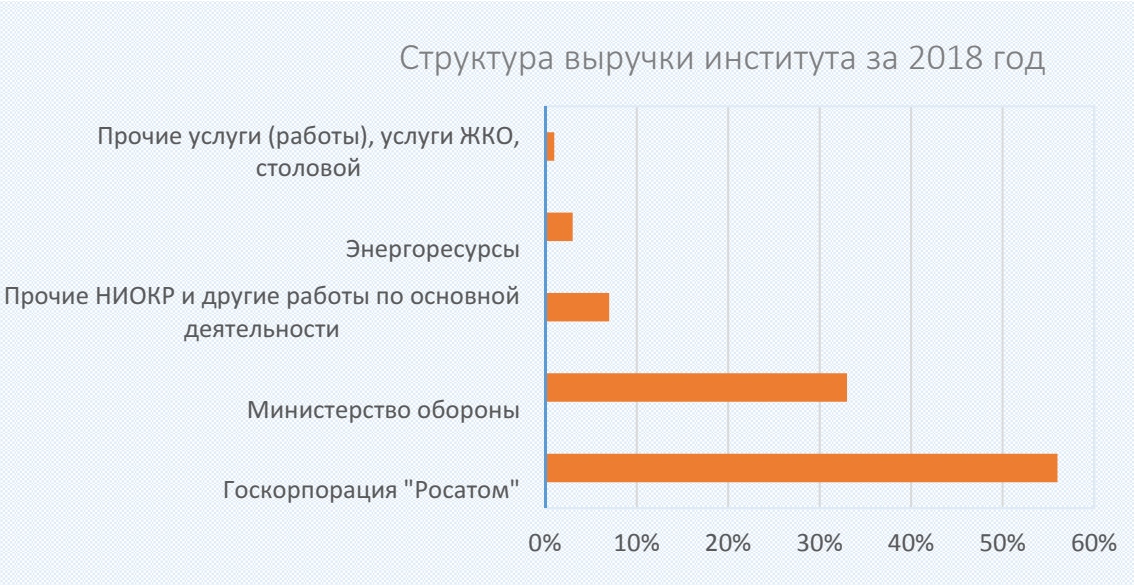
Выручка института за 2018 год составила **4 046,8 млн. рублей.**

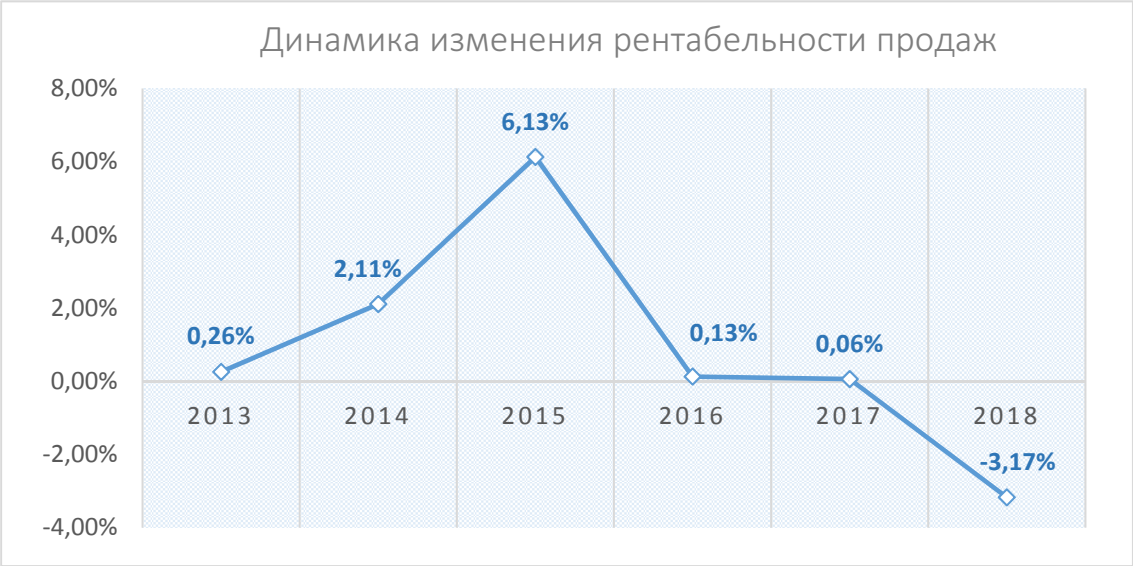


В 2018 году основным направлением деятельности института являлся выпуск ВиВТ – 91,3% (в том числе для государственных нужд (государственный оборонный заказ), выпуск продукции АСУ ТП – 3,4 %, иная прочая продукция, включая НИОКР в рамках «Системы и методы вычислений» 1,4 %, «Системы безопасности» – 0,1 %. Значительных структурных изменений в номенклатуре выпускаемой продукции в 2018 году не было.

План по выручке выполнен на 79 %. Основные факторы невыполнения плана по выручке в 2018 году – уточнение задания АО «ЦКБ МТ «Рубин» по директивному документу, срок заключения договора перенесён на 2019 год.







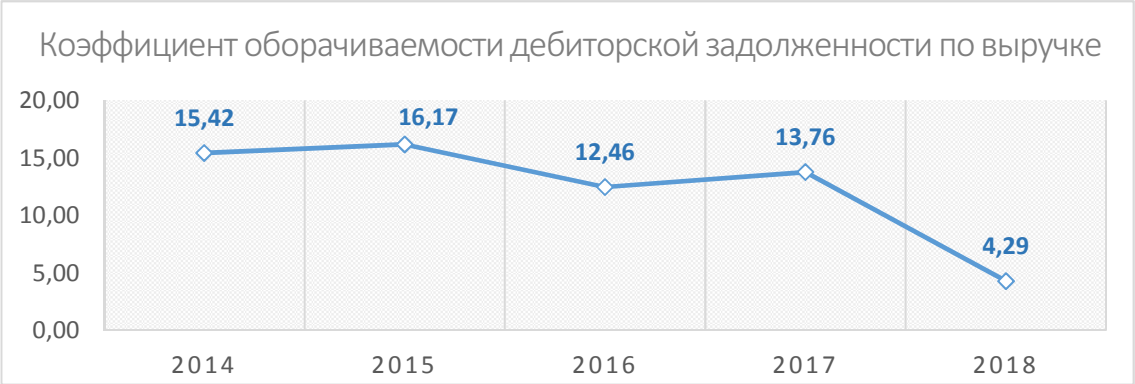
Изменение выручки и чистой прибыли за 2014–2018 г.г.

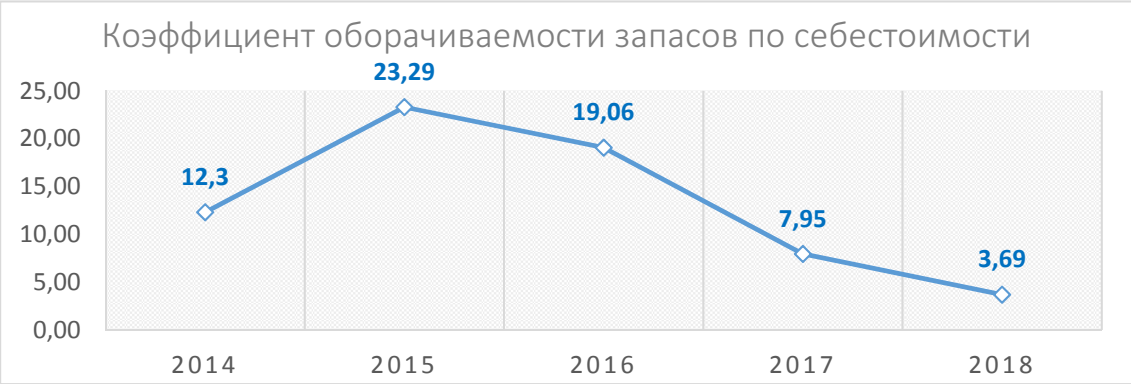
Показатель	2014	2015	2016	2017	2018
Выручка, тыс. руб.	4 951 866	4 800 625	4 157 947	4 204 885	4 046 831
Чистая прибыль, тыс. руб.	104 307	294 105	5 505	2 336	-128 482

Основной фактор получения отрицательного финансового результата в 2018 году– перенос срока заключения договора с АО «ЦКБМТ «Рубин» на 2019 год в связи с уточнением технического задания со стороны АО «ЦКБ МТ «Рубин».

В 2018 году увеличилась дебиторская задолженность до 1 731 623 тыс. рублей в связи с применением 46 счёта по госконтракту с МО РФ, в том числе:

Наименование	2014	2015	2016	2017	2018
Всего дебиторская задолженность	369 215	260 981	488 45	219 506	1 731 623
в т.ч.					
Долгосрочная дебиторская задолженность	9 547	26 965	54 027	41 869	23 104
Краткосрочная дебиторская задолженность, в т.ч.:	359 668	234 016	434 18	177 637	1 708 519
• *расчёты с покупателями и заказчиками*	165 320	68 312	137 012	89 479	198 606
• *авансы выданные*	173 623	27 130	60 746	9 204	9 416
• *прочие дебиторы*	20 725	136 966	141 469	13 121	32 793





Заработная плата и численность персонала

За 2018 год среднемесячная заработная плата составила **84 664 руб.** (в т.ч. ППП – 86 476 руб.).

С 01 сентября 2018 года была проведена индексация заработной платы на 2,6 %.

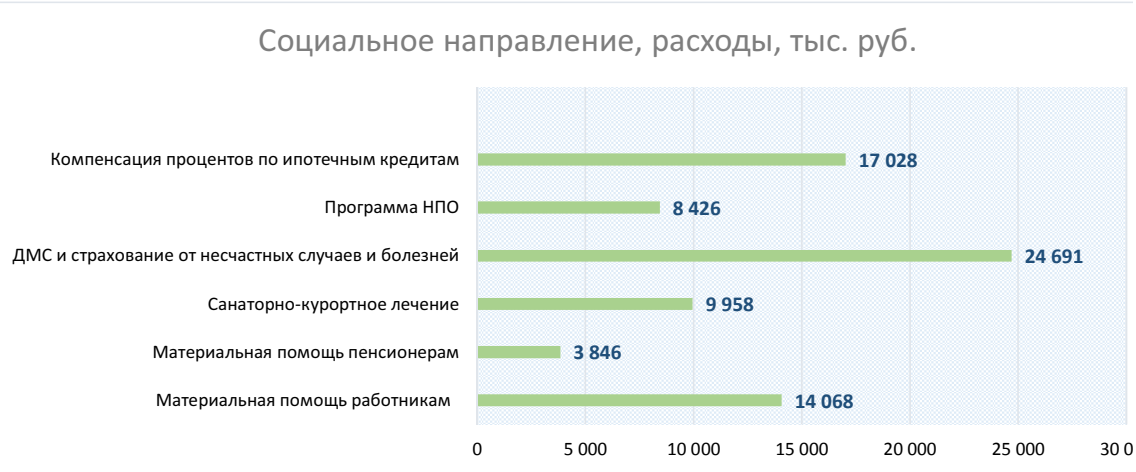
Средняя численность работников за 2018 год составила 2 283 человека, в т.ч. ППП – 2 182 человека.

Улучшение условий работы и охраны труда

В 2018 году по Соглашению об улучшении условий и охраны труда работодателя и трудового коллектива ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» были произведены ремонтные работы на сумму **6 860,46 тыс. рублей.**

В течение 2018 года на реализацию социальных программ было направлено 98 555 тыс. рублей, из них по основным направлениям:

Социальное направление	Расходы тыс. руб.	Количество человек
Материальная помощь работникам	14 068	576
Материальная помощь пенсионерам, в том числе выплаты пенсионерам к праздничным датам	3 846	467
Санаторно-курортное лечение:		
работников	6 545	150
детей работников	2 478	64
неработающих пенсионеров	935	22
Добровольное медицинское страхование и страхование от несчастных случаев и болезней	24 691	весь персонал
Программа негосударственного пенсионного обеспечения	8 426	276
Программа оказания помощи в приобретении работниками постоянного жилья (компенсация процентов по ипотечным кредитам)	17 028	155



13.2 Деятельность профсоюзной организации НИТИ в 2018 году

С.Н. Шишкин

2018 год является юбилейным годом для отраслевого профсоюза. В этом году российскому профсоюзу работников атомной энергетики и промышленности (РПРАЭП), в состав которого входит первичная профсоюзная организация (ППО) ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», исполнилось 70 лет. РПРАЭП образован в феврале 1992 года, но отсчёт своего «возраста» он ведет с января 1948 года, когда на заседании Секретариата ЦК ВКП(б) было принято решение о формировании профсоюзной организации предприятий Первого главного управления при Совмине СССР.

Профсоюз НИТИ, совместно с территориальным объединением профсоюзных организаций «Атомград» (ТОПО «Атомград»), в начале 2018 года поздравил каждого члена профсоюзной организации института с юбилейной датой образования.

В 2018 году был принят новый коллективный договор (КД) на 2018–2020 годы, который является правовым актом, регулирующим социально-трудовые отношения между Работодателем (ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова») и работниками института на основе согласования взаимных интересов сторон.

Новый КД не претерпел существенных изменений по сравнению с предшествующей версией. В него были внесены некоторые изменения в соответствии с действующим трудовым законодательством. К ним, в первую очередь, следует отнести корректировку п. 2.2 «Об индексации заработной платы». Действующим отраслевым соглашением (п. 6.2.5) предусмотрена возможность проводить индексацию заработной платы работников либо путем установления ежемесячной индексирующей выплаты, либо путем повышения должностных окладов. По результатам непростых переговоров с администрацией института профсоюзному комитету удалось отстоять редакцию п. 2.2. КД, согласно которой Работодатель обязан проводить индексацию заработной платы работников НИТИ в связи с ростом потребительских цен не реже одного раза в год путём повышения должностных окладов (часовых тарифных ставок).

В начале 2018 года ППО была согласована с администрацией института смета расходов социального характера – СРСХ, это позволило сохранить «социальный пакет» работникам института. Уровень финансирования СРСХ в сравнении с 2017 год вырост – на 10 %.

В июне было принято решение о сохранении СРСХ, в этой связи уровень социальных гарантий и преференций для сотрудников НИТИ не был снижен, хотя несколько раз был под угрозой сокращения.

Социальные выплаты и льготы для работников Института в 2018 году:

Санитарно-курортное лечение из них: – «мать и дитя» – пенсионеров НИТИ	153 28 22	путёвок
Детские оздоровительные лагеря (2 смена)	36	путёвок
Спортивные лагеря	4	путевки
Талоны к стоматологу (ежемесячно)	~100	талонов
Материальная помощь работникам	17 390	тыс. руб.
– ветеранам к 9 мая (55 ч.)	275	тыс. руб.
– пенсионерам ко дню пожилого человека	867	
– пенсионерам (по Положению…)	2 180	
Материальная помощь (из бюджета профсоюза)	3 522	тыс. руб.
В рамках Соглашения по улучшению условий труда (сверх сметы) работникам выплачено	30 886	тыс. руб.
Поездки, экскурсии (дополнительно сотрудникам оплачено 5 поездок, кроме поездок, профинансированных для подразделений) на сумму	350	тыс. руб.
Помощь в приобретении жилья (155 человек)	17 028	тыс. руб.
Социально-культурная деятельность	3 759,3	тыс. руб.
– из них медицинская поддержка пенсионеров	1 400	тыс. руб.
Спортивная деятельность	2 416,5	тыс. руб.

После заключения нового КД и сохранения СРСХ, из Госкорпорации «Росатом» поступила «Новая единая отраслевая социальная политика», утвержденная приказом Госкорпорации «Росатом» от 18.05.2018 № 1/540-П (далее Политика). Анализ профсоюзным

комитетом данного отраслевого документа показал, что действующие в НИТИ локальные нормативные акты (далее ЛНА) и социальные программы по ряду показателей лучше, чем предлагаемый документ Госкорпорации «Росатом». Например, доплата до среднего заработка по листам временной нетрудоспособности (количество дней), наградная политика, виды материальной помощи, зубопротезирование и др.

Необходимо отметить, что существенного ухудшения социального положения сотрудников НИТИ в связи с принятием новой политики Госкорпорации «Росатом» не произойдёт, поскольку к моменту принятия «Политики» часть социальных преференций для работников института была учтена или перенесена в другие локальные нормативные акты социального характера.

В 2018 году в кадровом составе профсоюзного актива произошли изменения. Сменилось несколько председателей комиссий ППО (ПМК, ОМК, КМК, МК). Вновь избранные новые председатели комиссий успешно продолжают работу своих предшественников, у них много идей и предложений. В 2018 году комиссии профсоюзного комитета (ПК) работали по заранее утвержденным планам.

Из графика видно, что наметилась тенденция к снижению численности профсоюзной организации. В интересах работников института руководству ППО и НИТИ необходимо совместно проанализировать сложившуюся ситуацию и выявить реальные причины снижению численности профсоюзной организации.

Деятельность ППО по охране труда

ППО принимает активное участие в жизни института, в том числе в области охраны труда. Так, за прошедший год, члены ППО участвовали в составе комиссии III ступени проверки подразделений по охране труда. Данная комиссия является эффективным механизмом повышения качества и уровня обеспечения рабочих мест сотрудников предприятия.

В 2018 году ежеквартальный отчет комиссий ППО перед ПК сменил формат. Теперь такой отчет проводится в конференц-зале (по типу круглого стола). И посетить такое заседание, узнать, чем занимается профсоюз и задать любые вопросы могут все желающие сотрудники.

В 2018 году поднимался вопрос относительно заработной платы работников института в возрасте до 35 лет. Задача заключалась в том, чтобы выявить сотрудников, у которых низкий уровень ИСН и ИСН не повышался несколько лет. Благодаря работе ППО большинству указанных выше сотрудников повысили ИСН в первой половине II квартала 2018 года.

В 2018 году ПК были приняты решения об организации нового вида материальной помощи, а также разработке и утверждению наградной политики. Теперь члены профсоюза получают материальную помощь при потере близкого родственника, премируются в случае награждения от РПРАЭП и могут быть награждены от ППО НИТИ.

Информационное обеспечение членов ППО

В рамках повышения информированности членов профессионального союза о деятельности ППО и принятых решениях, продолжил работу узел на внутреннем главном информационном портале института и E-mail рассылка. К рассылке подключены председатели профбюро отделов и комиссий ППО. Любой желающий может подключиться к новостной рассылке, выбрать интересующие темы и получать нужную информацию. На техническом узле ППО (внутренний сайт НИТИ/подразделения/профсоюз) каждый может найти полезную информацию, нормативные документы, формы документов, заявления и пр. Работают группы в социальной сети «ВКонтакте» (vk.com/msniti; vk.com/vsemprofsouz; vk.com/raduganiti). Развитие информационного направления будет продолжаться, поскольку проблема «недоинформированности» о деятельности ППО членов профсоюза является одним из факторов снижения членства ППО.

Развитию информационной деятельности ППО благодаря своим особенностям способствует и внедрение электронного профсоюзного билета (далее ЭПБ). Уже получено 1800 ЭПБ для членов ППО. Они будут выдаваться постепенно в течении 2019 года. С одной стороны, внедрение ЭПБ (http://card.profatom.ru) полезено председателям профбюро отделов и комиссий ППО своей электронной базой данных с широким функционалом, а с другой стороны даст возможность членам профсоюза экономить на покупках благодаря программам лояльности. Самые интересные региональные и федеральные партнеры в этом плане – МТС, «Билайн», Теле2, «Аптека.ру», сеть санаториев и здравниц (http://www.profatom.ru/?cat=116&nid=3389), страховые компании, интернет магазины техники, спортивные залы, которые уже заключили договоры о сотрудничестве с РПРАЭП (www.profatom.ru) о предоставлении скидок членам профессионального союза. В городе Сосновый Бор также идет активная работа по заключению договоров на предоставление скидок членам профсоюза. Часть соглашений уже заключена (PECO, DutyFreeFlowers, Панацея, Step2Danse, Wspa). Предложения в этом направлении по заключению подобных соглашений можно передавать в профсоюз.

13.3 Общественная жизнь предприятия

Праздник весны и труда 1 МАЯ

В 2018 году город отметил 60-летие основания посёлка Сосновый Бор (в 1958 году) и 45-летие со дня придания ему статуса города. 1 мая в Сосновом Бору было дождливо, но ярко. Сотрудники предприятия приняли активное участие в праздничном шествии и хоровом фестивале «Поющий город».

Первомайская демонстрация

День ПОБЕДЫ 9 мая 2018 года

Мемориал «Берег мужественных»

Воины восьмой армии и моряки Балтийского флота остановили в сентябре 1941 года на этом рубеже наступление немецких войск. Именно отсюда, с Ораниенбаумского пятачка началась операция «Январский гром» по окончательному снятию блокады Ленинграда и освобождению пригородов.

Конкурс профессионального мастерства

ЛУЧШИЙ ПОВАР НИТИ–2018

Праздник ПЕРВОГОДКИ НИТИ–2018

Пополнение трудовых резервов.
Традиционное проведение праздника посвящения в сотрудники НИТИ

Работа по профессиональному ориентированию молодёжи

Отдел обучения и развития организовал и провёл профориентационные мероприятия

Традиционная в НИТИ «Неделя без турникетов», в которой приняло участие около 150 школьников и студентов учебных заведений г. Сосновый Бор и г. Санкт-Петербурга:

- учащиеся лицея № 8;
- учащиеся Сосновоборского политехнического колледжа – 2 группы;
- студенты ИЯЭ СПбПУ г. Сосновый Бор – 2 группы;
- студенты ИТМО г. Санкт-Петербург – 2 группы.

В первом полугодии учебного года проведён ежегодный курс познавательных профориентационных лекций для старшеклассников школ города по направлениям деятельности института специалистами отделов ОНФИ, ОГК, ОДИ.

Во втором полугодии учебного года на КМС НИТИ прошёл цикл профориентационных экскурсий, организованными ООиР при активном участии сотрудников ОТФИ для учащихся 10-х классов школ № 3, 5, 6, 7, 9 города Сосновый Бор.

Сотрудники НИТИ принимают активное участие в совместной работе с Центром развития творчества (ЦРТ). Данные мероприятия проводятся совместно с представителями других организаций – ЛАЭС, ГОИ, Титан:

- «Физические бои» 8–10 классы;
- XXVI Всероссийский конкурс юношеских исследовательских работ имени В.И. Вернадского (региональный этап);
- конкурс презентаций и фотографий «Моя будущая профессия»;
- конкурс профессионального мастерства учащихся школ города 7–9 классы.

V НАУЧНО – ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ для старшеклассников г. Сосновый Бор

26 апреля 2018 года в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» на базе КМС состоялась V НАУЧНО – ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ для старшеклассников города Сосновый Бор (школы № 2, 6, 8, 9)

«МОЛОДОЕ ПОКОЛЕНИЕ ОБ АТОМНОЙ НЕРГЕТИКЕ-2018»

Цели и задачи Конкурса:

1. Формирование у старшеклассников осознанного профессионального самоопределения по выбору будущей профессии.
2. Привлечение внимания учащихся к научным разработкам на современном этапе и непосредственное дискуссионное общение с сотрудниками научных подразделений НИТИ.
3. Развитие навыков самопрезентации.
4. Выявление и поощрение творческого потенциала учащихся.

Участники конференции и тематика представленных презентаций

№	ФИО учащихся	Шк. №	Тема презентации	Итог
1	Климович Всеволод	8	Люминесценция	
2	Мочалов Даниил	8	Проблема обеспечения безопасности ядерных реакторов	
3	Донцова Ирина	8	Нанотехнологии в наши дни	**III место**
4	Дорогунцева Варвара	8	Черная дыра- реальность или гипотеза	
5	Сторожук Роман	8	Метод линейного программирования в решении задач максимизации (минимизации) функции	
6	Матыцин Кирилл	8	Огибающие кривых и семейств кривых. Примеры их практического использования	
7	Владимирова Анна	8	Суда на воздушной подушке	
8	Гусейнова Гунель			
9	Воробьев Николай	8	Что такое «ТОКАМАК» и его современное состояние	**II место**
10	Андреенко Николай	8	Пульсары - это нейтронные звезды	**I место**
11	Шаров Дмитрий	9	Мировой энергетический кризис: миф или реальность?	
12	Копачинская Ксения			
13	Венько Маргарита	9	В мире с радиацией	
14	Вагин Алексей			
15	Гончаров Егор	9	Плавучие атомные электростанции	
16	Саврасов Александр			
17	Московко Андрей	9	История ядерной энергетики	
18	Мысик Александра	6	Быстрое будущее	**III место**
19	Пикин Олег	6	Термоядерный синтез	
20	Сташок Андрей	6	Электромагнитные ускорители масс	**II место**
21	Маликов Александр	2	Сверхзвуковые и гиперзвуковые движения тел	
22	Чернякевич Михаил			
23	Гогулина Мария	2	Проблемы пресной воды. Причины их возникновения и пути устранения	
24	Жистин Фёдор	2	Физические барьеры обеспечения безопасности ядерных реакторов	
25	Беликов Иван	2	Физические основы лазерного термоядерного синтеза	
26	Овчаренко Андрей			
27	Блюдов Егор			
28	Булавинцев Егор	2	Ударные волны и их использование в технике	
29	Фокина Екатерина			
30	Колесников Фёдор			
31	Воронцов Глеб	2	«Ядерная зима» и условия её возникновения	
32	Кувин Владислав			
33	Серёгин Роман			

13.4 Поощрения, награды

Список сотрудников, отмеченных наградами в 2018 году

Удостоен высшего звания Российской Федерации «Герой Российской Федерации» с вручением медали «Золотая Звезда»

Василенко Вячеслав Андреевич	генеральный директор института

Орденом «За морские заслуги»

Пыхтеев Олег Юрьевич	помощник генерального директора – руководитель департамента стратегического развития

Орденом «Почёта»

Грановский Владимир Семёнович	ведущий научный сотрудник
Демидов Александр Владимирович	начальник отдела
Мигров Юрий Андреевич	начальник отдела

Медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени

Артемов Владимир Георгиевич	заведующий лабораторией
Гончаров Владимир Сергеевич	ведущий инженер
Жуковский Дмитрий Николаевич	заместитель начальника отдела – начальник лаборатории экспериментальных физических исследований
Заугольников Александр Николаевич	ведущий инженер
Иванов Никита Александрович	ведущий инженер /по управлению ядерной энергетической установкой/
Иванов Олег Александрович	заместитель руководителя департамента
Ильин Владимир Георгиевич	начальник отдела
Кирпиков Денис Александрович	заместитель руководителя департамента
Костров Илья Владимирович	старший научный сотрудник

Лелявин Александр Николаевич	заместитель начальника отдела
Поповичев Евгений Викторович	начальник группы
Пятаев Николай Владимирович	ведущий инженер /по управлению ядерной энергетической установкой/
Сулыбкин Сергей Валентинович	ведущий научный сотрудник
Тараканов Никита Юльевич	помощник начальника отдела по технологической подготовке производства
Тимофеев Андрей Николаевич	инженер 1 категории

Медалью «За заслуги в освоении атомной энергии»

Грицай Антон Сергеевич	начальник группы
Ефимов Владимир Казимирович	заместитель начальника отдела по экспериментальным исследованиям
Зарубин Вадим Валентинович	начальник лаборатории
Зверев Александр Анатольевич	ведущий инженер
Знаменский Игорь Владиславович	главный специалист руководства
Костин Михаил Михайлович	начальник группы
Кутьин Алексей Васильевич	начальник лаборатории
Лукашев Юрий Леонидович	начальник группы
Орлов Игорь Семенович	начальник отдела
Панфилов Владимир Филиппович	главный инженер отделения
Постернак Михаил Васильевич	главный инженер проекта
Шитарев Геннадий Леонидович	начальник отдела

Удостоен почётного звания Российской Федерации «Заслуженный химик Российской Федерации»

Горшков Аркадий Иванович	ведущий научный сотрудник /с возложением обязанностей руководителя группы/

Удостоен почётного звания Российской Федерации «Заслуженный строитель Российской Федерации»

Горошко Николай Иванович	начальник управления капитального строительства

Удостоены почётного звания Российской Федерации «Заслуженный работник атомной промышленности Российской Федерации»

Беляков Валерий Александрович	заместитель начальника отдела – начальник группы разработки и испытаний средств измерений
Орленков Игорь Сергеевич	главный научный сотрудник

Почётной грамотой Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»

Ларионов Александр Владимирович	ведущий специалист руководства

Благодарностью генерального директора Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»

Баранецкая Юлия Валерьевна	начальник отдела
Самохвалова Екатерина Борисовна	ведущий специалист

Благодарственное письмо генерального директора Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»

Степучев Рафаэль Алексеевич	ведущий инженер

Присвоено звание «Ветеран атомной энергетики и промышленности»

Алексеев Андрей Евгеньевич	инженер 2 категории
Анопочкин Егор Егорович	начальник группы

Знаком отличия в труде «Ветеран НИТИ им. А.П. Александрова»

Алепко Сергей Игорьевич	дозиметрист
Бабаян Ирина Викторовна	электрослесарь по обслуживанию автоматики и средств измерений
Гурьев Олег Владимирович	слесарь-ремонтник
Денисенко Галина Викторовна	машинист крана
Зверева Виктория Александровна	уборщик производственных и служебных помещений
Зубов Андрей Сергеевич	ведущий инженер
Иванов Виктор Васильевич	инженер 2 категории
Исанова Светлана Георгиевна	техник 2 категории
Красноборов Юрий Леонидович	слесарь механосборочных работ
Логинова Виктория Леонидовна	специалист 2 категории
Лялюев Дмитрий Владимирович	заместитель начальника отделения – начальник отдела динамики и прикладной математики

Мартюшева Галина Анатольевна	маляр
Машинистов Олег Васильевич	инженер 3 категории
Мудрецов Александр Егорович	начальник группы
Панкина Елена Борисовна	заведующий лабораторией
Панфилов Владимир Филиппович	главный инженер отделения
Пименова Оксана Вячеславовна	начальник отдела
Поляков Сергей Рудольфович	оператор экспериментальных стендов и установок
Постернак Михаил Васильевич	главный инженер проекта
Привалихин Александр Валерианович	начальник группы
Сосков Геннадий Владимирович	инженер 3 категории
Стеганцова Зульфия Дамировна	кастелянша
Тарасова Любовь Анатольевна	специалист
Тихонов Владимир Георгиевич	начальник группы
Токарева Ирина Викторовна	экономист 1 категории
Чёрный Олег Дмитриевич	начальник группы
Шкригун Игорь Васильевич	инженер 1 категории

Получили статус «Заслуженный пенсионер отраслевого значения»

Александров Николай Николаевич	аккумуляторщик
Анненко Лидия Михайловна	техник 1 категории
Басова Татьяна Владимировна	техник 1 категории
Гукасов Анатолий Иосифович	ведущий инженер
Дмитриева Нина Петровна	маляр
Жданова Нина Леонидовна	инженер-конструктор 1 категории
Иванова Лидия Павловна	уборщик производственных и служебных помещений
Засуха Виталий Константинович	ведущий научный сотрудник
Карусев Александр Евгеньевич	ведущий инженер
Коломин Василий Валерианович	слесарь-ремонтник
Копаница Жанна Вильховна	повар
Малахова Наталия Ивановна	инженер 2 категории
Матвеев Виктор Николаевич	ведущий инженер
Миндрин Олег Витальевич	инженер 2 категории
Ревякин Александр Анатольевич	водитель автомобиля
Рубанова Зоя Алексеевна	техник 1 категории
Румянцева Татьяна Михайловна	бухгалтер 1 категории
Сокова Юлия Михайловна	кладовщик
Соловьева Елизавета Владимировна	инженер 1 категории

Стрелков Анатолий Авкатович	ведущий инженер
Таболин Михаил Михайлович	оператор экспериментальных стендов и установок
Ульянов Михаил Яковлевич	водитель автомобиля
Федюкина Раиса Владимировна	инженер 2 категории
Чемерис Виталий Семенович	ведущий инженер-электроник
Шалаев Юрий Геннадьевич	заместитель главного инженера отделения /по эксплуатации систем ЯЭУ/

Получили статус «Почётный пенсионер предприятия атомной отрасли»

Заворуев Николай Васильевич	техник 1 категории
Косарев Игорь Иванович	слесарь механосборочных работ
Кузьмина Наталия Анатолиевна	рабочий зеленого хозяйства
Пинчук Олег Михайлович	ведущий инженер
Родионов Николай Павлович	ведущий бухгалтер
Стениловский Александр Васильевич	фрезеровщик

Знаком отличия Ленинградской области «За заслуги перед Ленинградской областью»

Василенко Вячеслав Андреевич	генеральный директор института

Присвоено звание «Почётный гражданин города Сосновый Бор»

Василенко Вячеслав Андреевич	генеральный директор института

Внесён в Книгу Славы города Сосновый Бор

Орлов Игорь Семенович	начальник отдела

Почётной грамотой главы администрации Сосновоборского городского округа

Демидков Валерий Михайлович	токарь
Чумаков Денис Валерьевич	заместитель генерального директора /по экономике и финансам/

Грамотой главы администрации Сосновоборского городского округа

Владимиров Сергей Владимирович	начальник отдела
Иванова Лидия Валентиновна	уборщик производственных и служебных помещений
Кириков Антон Викторович	заместитель генерального директора по безопасности
Монахов Владимир Иванович	машинист паровых турбин специального назначения

Попов Владимир Васильевич	начальник группы
Сулацкий Андрей Анатольевич	ведущий научный сотрудник

Благодарностью главы администрации Сосновоборского городского округа

Асмоловская Наталья Ильинична	дежурный по общежитию
Василенко Лариса Григорьевна	кладовщик
Волошина Ольга Сергеевна	начальник группы
Кононова Елена Викторовна	ведущий инженер
Кузьмичев Алексей Васильевич	водитель автомобиля
Логвин Федор Васильевич	начальник участка
Малышева Надежда Львовна	начальник участка
Скорик Татьяна Юрьевна	электрослесарь по обслуживанию автоматики и средств измерений
Степкин Александр Владимирович	дозиметрист
Титов Сергей Александрович	ведущий экономист
Федюкина Раиса Владимировна	инженер 2 категории

Грамотой главы муниципального образования Сосновоборский городской округ

Воронин Михаил Юрьевич	ведущий экономист
Карпов Олег Ефимович	инженер 1 категории
Кожевников Юрий Михайлович	ведущий специалист руководства
Куликова Елена Викторовна	специалист 1 категории
Кухтик Василий Степанович	специалист по внедрению ПСР 1 категории
Недорезова Татьяна Владимировна	ведущий инженер-программист

Благодарностью главы муниципального образования Сосновоборский городской округ

Балановская Анастасия Александровна	контролер КПК
Барышников Андрей Сергеевич	ведущий инженер
Божьева Лили Игоревна	инженер-конструктор 2 категории
Дермановский Валентин Эдуардович	инженер 1 категории
Исаев Егор Григорьевич	экономист 1 категории
Киселева Людмила Петровна	маляр
Мезенева Ирина Николаевна	инженер по качеству 1 категории
Рогов Евгений Иванович	подсобный рабочий
Салькова Марина Владимировна	кладовщик
Череповская Евгения Павловна	техник 1 категории
Шипилов Александр Васильевич	ведущий инженер

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АБ – аккумуляторная батарея
АЗ – аварийная защита
а.з. – активная зона
АК – аналитический контроль
АПЛ – атомная подводная лодка
АРМ – автоматизированное рабочее место
АС – аварийная сигнализация
АСКРО – автоматизированная система контроля радиационной обстановки
АСНИ – автоматизированная система научных исследований
АСО – автоматизированная система обучения
АСРК – автоматизированная система радиационного контроля
АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом
АЭС – атомная электростанция
БВ – бассейн выдержки
БД – блок детектирования
БО и Р – блок очистки и расхолаживания
ВВЧ – вода высокой чистоты
ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор
ВМФ – Военно-Морской Флот
ВРК – внутриреакторный контроль
ВХР – водно-химический режим
ГВД – газ высокого давления
ГТЗА – главный турбозубчатый агрегат
ГЭУ – главная энергетическая установка
ЕЦ – естественная циркуляция

ЖМТ – жидкометаллический теплоноситель
ЖРО – жидкие радиоактивные отходы
ЗО – защитная оболочка
ИВК – измерительно-вычислительный комплекс
ИИИ – источник ионизирующих излучений
ИК – измерительный канал, испытательный комплекс
ИМ – исполнительный механизм
КГ – компенсирующая группа
КД – конструкторская документация
КГО – контроль герметичности оболочек твэлов
КМС – крупномасштабный стенд
КСУ ТС – комплексная система управления техническими средствами
КУЭ – коммерческий учёт электроэнергии
МБК – металлобетонный контейнер
МВ – межведомственные испытания
МК – мобильный комплекс
МДК – мобильно-диагностический комплекс
ММ – математическая модель
ММСУ – модульная мембранно-сорбционная установка
МУЦ – модульная установка цементирования
МХ – метрологическая характеристика
МЦО – межцикловое обслуживание
МЭА – моноэтаноламин
НФИ – нейтронно-физические измерения
НФХ – нейтронно-физические характеристики
ОТВС – отработавшая тепловыделяющая сборка
ОЦТ – основной циркуляционный тракт
ОЯТ – отработавшее ядерное топливо
ПВ – питательная вода
ПГ – парогенератор
ПГБ – парогенерирующий блок
ПК – программный комплекс
ПМТ – полномасштабный тренажёр
ПО – программное обеспечение
ППУ – паропроизводящая установка
ПС – предупредительная сигнализация
ПТК – программно-технический комплекс
ПУ – пульт управления
ПЦ – принудительная циркуляция

РАО – радиоактивные отходы
РИК – расходомерный измерительный комплекс
РБ – радиационная безопасность
РК – радиационный контроль
РМК – расчётно-моделирующий комплекс
РТК – радиационно-технологический контроль
РУ – реакторная установка
САР – система аварийного расхолаживания
СВП – стержень выгорающего поглотителя
СИ – средство измерения
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
твэл – тепловыделяющий элемент
ТРО – твёрдые радиоактивные отходы
ТТК – теплотехнический контроль
ТФИ – теплофизические исследования
УСД – универсальный стенд дефектации
УКХ – упаковочный комплекс хранения
УЛР – устройство локализации расплава
ФТО – функциональный тренажёр обучения
ХОЯТ – хранилище отработавшего ядерного топлива
ЦНПК – циркуляционный насос первого контура
ЦПУ – центральный пульт управления
ЭТВС – экспериментальная тепловыделяющая сборка
ЭЭС – электроэнергетическая система
ЯБ – ядерная безопасность
ЯЭУ – ядерная энергетическая установка