Федеральная ядерная организация
Федеральное государственное унитарное предприятие

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

ГОДОВОЙ ОТЧЁТ
2017 год

г. Сосновый Бор
Ленинградской обл.

ФЕДЕРАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

“НИТИ им. А.П. Александрова”

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

ГОДОВОЙ ОТЧЁТ

2017

УДК-621.039.577.056
ББК-31.46

Редакционная комиссия:

В.А. Василенко (главный редактор)
Р.Д. Филин
Ю.В. Крюков

Компьютерная вёрстка:

Е.В. Куликова, П.С. Суворов

Фото:

Д.С. Веденин

Ответственный за выпуск отчёта:

Ю.В. Крюков

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 наградениях и некоторых юбилейных датах.

© ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

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

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ 19

1.1 Административная структура 20

1.2 Основные научно-технические подразделения 21

1.3 Кадровый состав 22

2. ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ НА СТЕНДАХ-ПРОТОТИПАХ ТРАНСПОРТНЫХ ЯЭУ 23

3. ДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, СОЗДАНИЕ ТРЕНАЖЁРОВ 27

3.1 Динамические исследования в 2017 году 28

3.2 Разработка, изготовление и заводские испытания полномасштабного и функционального тренажёров для подготовки персонала универсального атомного ледокола проекта 22220 30

3.3 Программно-технический комплекс «Автоматизированное рабочее место инженера-механика» 34

3.4 Развитие и применение расчётно-моделирующего комплекса системы технического водоснабжения НИТИ 38

3.5 Расчётное определение предельных уровней мощности энергетической установки при работе с частичным составом оборудования 42

3.6 Разработка, изготовление и поставка системы управления оборотным водоснабжением комплекса переработки радиоактивных отходов Ленинградской АЭС 43

3.7 Программно-технический комплекс для отладки алгоритмов управления системы управления ЯЭУ реконструируемого стенда 47

3.8 Расчётный анализ температурного состояния дыхательного трубопровода транспортной ЯЭУ в режиме перехода с естественной циркуляции на принудительную ...50

3.9 Проработка концептуальных решений по созданию комплексной системы управления техническими средствами опытного образца энергоблока 55

4. НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 59

4.1 Исследование температурного режима твэлов активной зоны энергетического стенда в динамических режимах на основе сопряженных нейтронно-физических теплогидравлических расчётов 60

4.2 Верификация комбинированного расчёта потвэльного энерговыделения комплексе программ САПФИР_95&RC_ВВЭР 65

4.3 Научно-исследовательские разработки ОТФИ 70

4.4 Основные результаты исследований на интегральном теплогидравлическом стенде 71

4.5 Оценка неопределённости замыкающих соотношений теплогидравлических расчётных кодов 77

5. ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И РАДИОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....89

6. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ НА СТЕНДАХ-ПРОТОТИПАХ ТРАНСПОРТНЫХ ЯЭУ 103

7. ИССЛЕДОВАНИЯ ТЯЖЁЛЫХ АВАРИЙ 108

7.1 Исследование особенностей существования трёхжидкостной структуры ванны расплава кориума с коркой между легким металлом и оксидно-металлическим расплавом, имеющей высокую степень окисленности 110

7. 2 Исследование особенностей существования трёхжидкостной структуры ванны субокисленного расплава кориума с тонким слоем лёгкого металла на поверхности корки 117

7.3 Исследование распределения компонентов кориума, бетона подреакторной шахты и продуктов деления на внекорпусной стадии тяжёлой аварии 121

8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ И ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 128

8.1 Отдел радиационной безопасности 129

8.2 Испытание системы непрерывного аппаратурного технологического контроля герметичности парогенераторов в составе комплекса КМК..... 130

8.3 Отдел по ЧС 137

9. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ 151

9.1 Валидация блочного щита управления энергоблока №3 Тяньваньской АЭС 153

9.2 Режимные и информационные видеокадры ЛАЭС-2 161

9.3 Комплекс программно-технических средств автоматического контроля и управления модуля аварийного и поставарийного отбора водных сред для энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР 168

10. ЭНЕРГОМЕХАНИЧЕСКОЕ ХОЗЯЙСТВО 178

10.1 Управление энергоснабжением 179

10.2 Отдел главного механика 184

11. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ 185

11.1 Международное сотрудничество..... 186

11.2 Участие специалистов НИТИ в совещаниях, семинарах, конференциях, выставках, молодёжных форумах Госкорпорации «Росатом»..... 190

11.3 Научно-технические издания, публикации..... 203

11.4 Конкурсы научных и инженерных работ..... 216

12. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ 221

12.1 Основные итоги деятельности института за 2017 год 222

12.2 Общественная жизнь предприятия 226

12.3 Поощрения, награды 234

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ..... 242

ОБРАЩЕНИЕ ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА

Уважаемые коллеги!

Предлагаю Вашему вниманию очередной выпуск годового отчёта ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» за 2017 год. В 2017 году учёными и специалистами подразделений института выполнен значительный объём работ по подготовке, обеспечению и проведению испытаний и исследований на экспериментальных стендах института, по 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 (ОИАЭ) как в Российской Федерации, так и за её пределами.

В 2017 году на стендах института продолжились испытания и исследования

перспективной элементной базы транспортных ЯЭУ по утверждённым программам и методикам.

В 2017 году ЯЭУ стенда КВ-2 эксплуатировалась согласно установленному режиму хранения парогенерирующего блока (ПГБ) и использования систем ЯЭУ в соответствии с техническим решением «О режиме хранения ПГБ и использования систем стенда КВ-2 в период подготовки к выводу из эксплуатации». В рамках подготовки к выводу из эксплуатации ЯЭУ стенда КВ-2 в 2017 году закончена разработка проектной документации по объекту «Вывод из эксплуатации ЯЭУ стенда КВ-2». Разработанная проектная документация получила положительные заключения надзорных органов и была утверждена в Госкорпорации «Росатом». В 2017 году закончены работы по выгрузке и вывозу с территории института отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) стенда КВ-2 в целях выполнения мероприятия «Обеспечение безопасного обращения с отработавшим ядерным топливом исследовательских ядерных установок», предусмотренного Федеральной целевой программой «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016-2020 годы и на период до 2030 года».

Проводились работы по подготовке к вывозу отработавшей выемной части (ОВЧ) реактора ЯЭУ стенда КМ-1 с территории НИТИ. В августе 2017 года ОВЧ реактора ЯЭУ стенда КМ-1, размещенная в транспортном контейнере ТУК-143, вывезена с территории ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» и передана «СЗЦ СевРАО» филиала ФГУП «РосРАО» Мурманской обл. (ЗАТО «Островной»).

В 2017 году отделом метрологических исследований велись работы по метрологическому обеспечению средств измерений и измерительных каналов технологических систем стендов-прототипов ЯЭУ в объёме подготовки к очередным этапам их испытаний с целью повышения достоверности измерительной информации, обеспечения безопасности испытаний, повышения эффективности и качества проводимых исследований, обеспечения оптимальных алгоритмов управления систем стендов-прототипов. Выполнены работы по метрологическому обеспечению измерительных систем стенда ВХГР. Выполнен комплекс работ по созданию и сертификации специального расходомерного стенда, для настройки, градуировки, калибровки, поверки, юстировки расходомеров жидкости для технологических сред объектов с ЯЭУ.

Специалистами отдела радиационной безопасности в течение 2017 года велась работа по радиационному контролю при создании, эксплуатации и выводе из эксплуатации стендов ЯЭУ, по научному сопровождению испытаний, проводимых на этих установках в соответствии с программами НИР, по поверке средств измерений ионизирующих излучений, а также по проектированию автоматизированных систем радиационного контроля для выводимых из эксплуатации стендов-прототипов института и для планируемых к размещению в институте новых стендов.

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. Проводились разработка, сопровождение и авторский надзор тренажёрных систем, продолжено совершенствование систем автоматизации расчётных исследований. Особо следует отметить разработку и изготовление полномасштабного и функционального тренажёров для подготовки персонала уни-

версального атомного ледокола нового поколения проекта 22220. В 2017 году успешно проведены заводские испытания тренажёров. Разработанные тренажёры являются современными высокотехнологичными программно-техническими средствами, созданными на основе самых передовых достижений в области математического моделирования динамики энергетических установок.

За 2017 год получены существенные результаты в развитии системы автоматизации моделирования ТЕРМИТ в части развития сервисного программного обеспечения и интеграции в состав ТЕРМИТ системного кода улучшенной оценки КОРСАР, разработки графического редактора для ввода исходных данных и формирования расчётных схем кода КОРСАР.

В 2017 году активно велась разработка комплексных систем управления (КСУ) ЯЭУ и техническими средствами (ТС) стендовых комплексов. Результатом выполненных работ стали концептуальные решения по созданию КСУ ТС стендового опытного образца энергоблока (ЭБОО), которые продемонстрировали возможность создания КСУ ТС на базе использования программно-технических средств (ПТС) отечественного производства.

Современная концепция испытаний энергетического оборудования транспортных ЯЭУ предполагает не только непрерывную регистрацию экспериментальной информации о состоянии оборудования и контролируемых процессов, но и проведение расчётного сопровождения испытаний. Проводимое расчётное сопровождение испытаний позволило корректно интерпретировать получаемые экспериментальные данные и прогнозировать поведение нейтронно-физических характеристик активной зоны в предстоящих этапах испытаний, повышая безопасность проводимых исследований.

Мультифизичность проводимых на стендах НИТИ экспериментальных исследований потребовала применения новых подходов, основанных на применении «связанных» нейтронно-физического (САПФИР-RC)

и теплогидравлического (КОРСАР) кодов. Высокий научно-технический уровень расчётных кодов, применяемых для расчётного сопровождения стендовых испытаний ЯЭУ, позволяет с успехом применять их и для энергетических реакторов типа ВВЭР. В 2017 году велись работы по дальнейшему развитию нейтронно-физических расчётных кодов в части их применения к ВВЭР.

В течение 2017 года выполнен значительный объём НИР по дальнейшему совершенствованию системного расчётного кода (РК) КОРСАР и сопровождению его эксплуатации в проектно-конструкторских организациях. Проведён цикл расчётов по верификации объединённого программного комплекса КОРСАР/BR–КУПОЛ/МТ, обеспечивающего сопряжённое моделирование внутриконтурных и контейнментных процессов в объектах ядерной энергетики. Завершены работы по верификации кода КОРСАР/ГП на основе экспериментов, полученных на интегральном электрообогреваемом стенде (институт KAERI, Южная Корея).

Продолжались работы по формированию базы верификационных данных, полученных в ходе испытаний стенда-прототипа КВ-2, позволяющие использовать для верификации расчётных кодов результаты оцененных экспериментов, а также предоставлять необходимую для формирования расчётных моделей документацию в оцифрованном виде.

На аттестованном в качестве испытательного оборудования стенде «ВХГР» выполнен комплекс работ, включая межведомственные испытания, по обоснованию эффективности каталитического дожигателя водорода. Осуществлялись проектирование и изготовление универсального стенда для моделирования пространственных процессов термогидродинамики, на основе современных измерительных технических средств, включая комплексы ЛДИС и PIV. Продолжались работы по сопровождению комплекса технических средств автоматизированной системы АСУП (СМ-821), разработанной на нашем предприятии и эксплуатирующейся на ЛАЭС при переводе отработавшего топлива в режим сухого

хранения в контейнерах УКХ-109.

Отделом химико-технологических исследований проведена большая работа по химико-технологическому и радиохимическому сопровождению комплексных испытаний на стенде КВ-1 и подготовке к выводу и выводу из эксплуатации ЯЭУ стенда КВ-2. В натурных условиях стенда-прототипа транспортной ЯЭУ были завершены исследования ресурсных характеристик ионитов отечественного производства, получены данные о массопереносе органических примесей и продуктов их радиационно-термической деструкции в системах стенда. С целью оптимизации технологии удаления продуктов коррозии из контуров стенда продолжены работы по проведению коррозионного мониторинга основного и вспомогательного оборудования ЯЭУ в периоды испытаний и межцикловых ремонтов.

В соответствии с Регламентом и Программой ведения объектного мониторинга состояния недр проводился радиационный контроль сбросов и выбросов, формирующихся в процессе испытаний стенда КВ-1, и радиационный контроль грунтовых вод в районе здания стенда КВ-1. Получены обобщенные результаты радиоэкологического контроля за период работы стенда КВ-1 в кампании, свидетельствующие о практическом отсутствии влияния работы стенда на радиационную обстановку в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

Выполнены работы по курированию монтажа модернизированной системы газового контроля на крупномасштабном контейнментном стенде КМС. Специалисты института участвовали в проведении комплексных испытаний разработанной в НИТИ автоматизированной системы радиационного контроля на 3-м энергоблоке Тяньваньской АЭС в Китае, в изготовлении, настройке и наладке радиометров-спектрометров, обнаружителей ВВ в системах КРАТОС и ЧУБ и других приборов для передачи Заказчикам.

Специалистами отделов химико-технологических, теплофизических и метрологических исследований велась разработка системы стабилизации водно-химического и газового режимов (ВХГР) перспективных ЯЭУ, предназначенной для утилизации радиолитических газов, образующихся при работе ЯЭУ.

В отделе исследования тяжёлых аварий на установках экспериментального комплекса «Расплав» продолжено исследование процессов, протекающих на различных стадиях тяжёлых аварий АЭС. В рамках выполнения задач по программе «CORDEB2» (контракт с IRSN-Франция) проведены эксперименты по исследованию особенностей существования трёхслойной структуры ванны расплава кориума с коркой между легким металлом и оксидно-металлическим расплавом, и исследованию особенностей существования трёхслойной структуры ванны субокисленного расплава кориума с тонким слоем лёгкого металла на поверхности корки. На основе полученных экспериментальных данных разработан термодинамический подход к описанию трёхслойной ванны расплава в условиях градиента температуры, позволяющий получать информацию о стационарных состояниях системы, необходимую для проведения количественных прогнозных расчётов сценариев аварии. В рамках работы по проекту «Термодинамическое описание топливных осколков и продуктов деления на основе анализа сценария развития тяжёлой аварии на АЭС Фукусима-Дайити (АЯЭ/ОЭСР TCOFF)» проведена серия экспериментов по исследованию процесса кристаллизации расплава системы «кориум – бетон – продукты деления» для условий, характерных для реакторов типа ВВЭР и BWR. Полученные результа-

ты актуальны для определения структуры ванны расплава и распределении компонентов между сосуществующими жидкими и твердыми фазами на внекорпусной стадии тяжёлой аварии.

В 2017 году в институте продолжались работы по проектированию человеко-машинного интерфейса для операторов АЭС, сооружаемых по российским проектам как в России (Ленинградская АЭС -2), так и за рубежом (Тяньваньская АЭС, Белорусская АЭС, АЭС «Пакш-2»). Завершена разработка систем видеокадров для автоматизированных рабочих мест операторов пунктов управления Ленинградской АЭС – 2, в том числе блочного пункта управления, пункта водоподготовки, центрального пункта управления и других.

Отдельно хотелось бы отметить выполненный в 2017 году Отделом главного конструктора АСУТП комплекс работ по верификации и валидации блочного щита управления (БЩУ) энергоблока №3 Тяньваньской АЭС. Впервые для российских проектов АЭС работы выполнялись в полном соответствии с требованиями международных нормативных документов IEC 60964-2009, NUREG 0711 rev.3, IEC 61771-1995. По результатам работ была обоснована готовность БЩУ, как интегрированной системы, к операциям по загрузке ядерного топлива и вводу в эксплуатацию энергоблока №3 Тяньваньской АЭС.

В рамках разработки опытного образца аппаратуры аварийного и поставарийного отбора водных сред для энергоблоков АЭС с ректорами ВВЭР (АППО) был создан комплекс средств автоматического контроля и управления. Комплекс позволил реализовать автоматическое выполнение процесса аварийного химического контроля теплоносителя первого контура и информирование взаимодействующего с АППО персонала о безопасных уровнях активности полученных проб.

В 2017 году институтом 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 2017 году вышло четыре выпуска научно-технического сборника со статьями, подготовленными учёными НИТИ и авторами из других организаций.

В 2017 году Федеральной службой по надзору в сфере образования и науки ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» предоставлена лицензия на право оказания образовательных услуг по подготовке научно-педагогических кадров в аспирантуре по программам подготовки «Химические науки», «Ядерная, тепловая и возобновляемая энергетика и сопутствующие технологии». Полученная лицензия даёт возможность открытия в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» заочной аспирантуры по указанным направлениям подготовки специалистов высшей квалификации из числа сотрудников института и сотрудников других организаций.

В конце 2017 года численность работников института составила 2369 человек. В 2017 году в НИТИ вновь принято на работу 104 работника (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 2017 году четыре сотрудника института награждены государственными наградами, 62

сотрудника получили в 2017 году награды Госкорпорации «Росатом».

В 2017 году главный научный сотрудник отдела исследований тяжёлых аварий В.Б. Хабенский удостоен звания «Заслуженный деятель науки Российской Федерации».

Экономическое состояние Института в 2017 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.

17 июля 2017 года НИТИ исполнилось 55 лет со дня образования! За 55 лет своего существования НИТИ прошёл большой исторический путь превращения из Государственной испытательной станции в крупный научный центр в области ядерной энергетики. В настоящее время институт является единственной в России экспериментальной базой по комплексной отработке новых ЯЭУ на наземных стендах-прототипах. Накопленный научно-технический потенциал, совершенствование и развитие стендовой базы ядерных реакторов нового поколения открывает перед институтом перспективы дальнейшего развития в ряду ведущих предприятий атомной отрасли России.

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

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

НИТИ – 55!

В июле 2017 года мы перевернули очередную пятилетнюю страницу в жизни института. Ему исполнилось 55 лет!

17.07.1962 Государственный комитет по атомной энергии издал приказ «О создании Государственной испытательной станции корабельных ЯЭУ» в качестве филиала Института атомной энергии им. И.В. Курчатова, которая стала родоначальником крупнейшего научного центра по испытаниям и исследованиям ЯЭУ на наземных стендах прототипах – «НИТИ им. А.П. Александрова».

Атомная энергетика по своим характеристикам значительно превосходит возможности всех предыдущих технологий энергообеспечения. Установка на корабле ядерного реактора произвела революцию в кораблестроении, снабдив его принципиально новыми качествами, прежде всего это практически неограниченные возможности по длительному нахождению в море без захода в порты для заправки топливом. Особенно важным это оказалось для подводных лодок, превратив их из «ныряющих» в действительно подводные, способные несколько месяцев находиться под водой для выполнения поставленных задач.

Наличие опасных факторов ядерной энергетики – в первую очередь радиоактивного излучения и его влияние на человека и окружающую среду – выдвигали

специальные требования к безопасности и надежности используемого энергетического оборудования, которое, в том числе, должно обеспечивать предотвращение выхода радиоактивных продуктов из реактора при его работе. И, в первую очередь, это касалось судовых и корабельных реакторов, т.к. при возникновении аварий её локализация и устранение в море является крайне трудно выполнимой задачей.

Весь мировой опыт развития ядерной энергетики свидетельствует, что без предварительной апробации и испытаний на наземных стендах решить проблему обеспечения безопасности и надежности высокоэффективного оборудования ЯЭУ было крайне сложно.

При организации испытаний стало понятно, что решить поставленные задачи отработки оборудования ЯЭУ старыми методами сложно и трудоёмко. Регистрация сотен параметров традиционными осциллографами и самописцами вызывала «циклопические» затраты. Своевременная и корректная интерпретация зарегистрированной информации также представляла самостоятельную задачу и требовала определённой «фантазии» исследователей. Стало очевидным, что без автоматизации процессов сбора и специализированной обработки информации задачи по контролю состояния оборудования ЯЭУ не решить. При этом ни отечественной, ни зарубежной промышленностью готовых систем, способных в реальном времени регистрировать и обработать экспериментальные данные в таком объёме, не выпускалось. Специалистам НИТИ впервые пришлось подобные системы разрабатывать и создавать самим. Так родились известные теперь комплексы автоматизации натурных испытаний – АНИС, а работы коллектива института в области автоматизации испытаний оборудования ЯЭУ получили премию Правительства СССР.

Практика проведения испытаний показала, что для анализа получаемой экспериментальной информации и её корректной интерпретации нужно создавать математические модели процессов, протекающих в оборудовании ядерной установки. Роль математических моделей оказалась плодотворной и для других важных задач: выполнения предварительных расчётных обоснований безопасности испытательных режимов с целью исключения неблагоприятных режимов работы оборудования, а также для создания тренажёров и тренажёрных комплексов – устройств для подготовки и обучения персонала. Специалистами НИТИ разработано не одно семейство тренажёров, семейство известных «ДИАН». Сегодня – это расчётно-моделирующие комплексы – РМК.

Для надёжности и продления ресурса оборудования ЯЭУ важное значение имеет качество технологических сред, с помощью которых тепловая энергия ядерной реакции передаётся конечному потребителю – турбине. Высокая температура и давление, радиоактивное излучение способствуют развитию коррозионных процессов на поверхностях технологического оборудования. Чтобы уменьшить их влияние на оборудование, необходимо обеспечить поддержание различных примесей в теплоносителе в строго определённых пределах. Кроме того, необходимо контролировать герметичность топливных оболочек с целью предотвращения выхода радиоактивных продуктов в теплоноситель и за пределы реактора. Такие методы и средства поддержания необходимого качества теплоносителя и его контроля были впервые разработаны в нашем институте и внедрены на многих АЭС. Разработки наших специалистов в области химико-технологического контроля и обеспечения эксплуатации оборудования ЯЭУ были заслуженно отмечены премией Правительства Российской Федерации.

Система экспериментальных измерений, состоящая из измерительных каналов с

большим количеством датчиков и измерительных устройств, требует постоянного метрологического контроля за их состоянием. Условия, в которых приходится функционировать измерительным системам в ходе эксплуатации ЯЭУ, требования по надёжности и сроку службы, быстродействию потребовали разработки нашими метрологами собственных датчиков и преобразователей, удовлетворяющих этим требованиям.

Все годы жизни института были связаны с созданием и развитием передовых технологий не только в области атомной энергетики, но и в других областях науки и техники: автоматизации, нефтехимии, математическом моделировании и др. Наши специалисты работали на очистке хранилищ отработавшего ядерного топлива на Севере России и на тихоокеанском побережье, предотвращая возможные экологические катастрофы. На севере Тюменской области участвовали в автоматизации процессов добычи нефти и защиты трубопроводов от коррозии. В районе Салехарда и во многих других местах принимали участие при автоматизации котельных, используя опыт и знания, полученные в НИТИ, для разработки и внедрения новых методов и технологий. Таким образом, из испытательной станции 1960-х годов институт превратился в ведущее многопрофильное научное предприятие, разрабатывающее и обладающее самыми передовыми технологиями.

Все достижения и научные результаты, которые выдвинули институт на мировой уровень в области создания технологий обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, стали возможны благодаря самоотверженной работе всего коллектива института, его учёных и технических специалистов, энергетиков, связистов, механиков, электриков, экономических служб, а также благоприятному психологическому климату, способствующему выработке самостоятельных решений.

Сегодня институт ведёт плодотворную работу по испытаниям и исследованиям новых перспективных установок, созданию тренажеров для атомного ледокольного флота, математическому моделированию и разработке современных программных кодов для расчётного сопровождения испытаний оборудования и систем для атомной отрасли, создание систем взаимодействия «человека-оператора и машины» для строящихся атомных станций в России и за рубежом и другие. Результаты исследований в области тяжёлых аварий привели к созданию ловушек для расплава топлива и оборудования реактора в случае аварий с расплавлением топлива. Подобными ловушками сейчас снабжаются все строящиеся отечественные АЭС, в том числе и ЛАЭС № 2, и АЭС за рубежом, строящиеся по российским проектам.

В 2017 году, встретив свой 55-летний юбилей, институт продолжает с уверенностью смотреть в будущее, находясь на передовых рубежах атомной науки и техники.

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

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

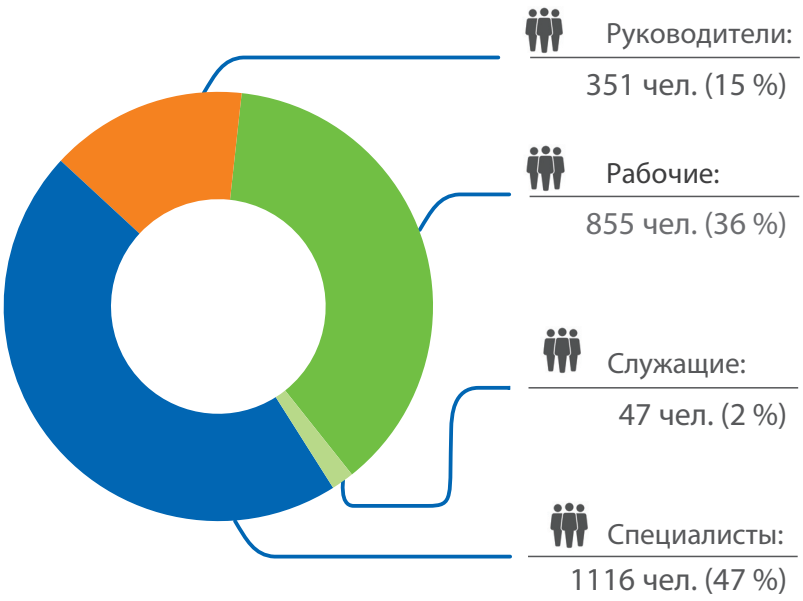
1.2 Основные научно-технические подразделения

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 математическоого 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. • Экологический 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.
Отдел радиационной безопасности	• Дозиметрический и технологический контроль. • Радиоэкологический контроль. • Разработка автоматизированных систем радиационного контроля. • Разработка комплексов для поверки дозиметрических приборов.
Конструкторский отдел	• Проектирование оборудования объектов атомной энергетики. • Проектирование технологического оборудования.
Отдел по надзору за ядерной, радиационной и промышленной безопасностью	• Ядерная безопасность. • Техническая безопасность. • Учёт и контроль ядерных материалов и радиоактивных веществ.

1.3 Кадровый состав

Кадровый состав института



Численность работников по категориям

Общее количество сотрудников: **2 369 (100 %)**

- **Руководители: 351 чел. (15 %)**
  - Работники науки: 67 чел.
  - Доктора наук: 8 чел.
  - Кандидаты наук: 12 чел.
- **Специалисты: 1116 чел. (47 %)**
  - Работники науки: 61 чел.
  - Доктора наук: 4 чел.
  - Кандидаты наук: 33 чел.
- **Рабочие: 855 чел. (36 %)**
- **Служащие: 47 чел. (2 %)**

2. ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ НА СТЕНДАХ-ПРОТОТИПАХ ТРАНСПОРТНЫХ ЯЭУ

2. ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ НА СТЕНДАХ-ПРОТОТИПАХ ТРАНСПОРТНЫХ ЯЭУ

В течение 2017 года на стендах-прототипах института проводились исследования и испытания в обоснование безопасности и надёжности элементной базы инновационных транспортных ЯЭУ.

В 2017 году ЯЭУ стенда КВ-2 эксплуатировалась согласно установленному режиму хранения ПГБ и использования систем ЯЭУ стенда КВ-2 в соответствии с техническим решением «О режиме хранения ПГБ и использования систем стенда КВ-2 в период подготовки к выводу из эксплуатации».

Исправное состояние систем стенда КВ-2 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.

В 2017 году закончены работы по выгрузке и вывозу с территории института ОЯТ стенда КВ-2 в соответствии с договором ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» и ФГУП «ПО «Маяк» в рамках Государственного контракта «Обеспечение в 2016–2018 годах безопасного обращения с отработавшим ядерным топливом исследовательских ядерных установок АО «ГНЦ НИИАР», ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» в целях выполнения мероприятия «Обеспечение безопасного обращения с отработавшим ядерным топливом исследовательских ядерных установок», предусмотренного Федеральной целевой программой «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016-2020 годы и на период до 2030 года».

В рамках подготовки к выводу из эксплуатации ЯЭУ стенда КВ-2 в 2017 году по договору с ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» АО «ФЦНИВТ «СНПО «Элерон»–«ВНИПИЭТ» были закончены работы по разработке проектной документации по объекту «Вывод из эксплуатации ЯЭУ стенда КВ-2» в объёме требований Приложения к «Правилам обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации исследовательских ядерных установок».

Разработанная проектная документация получила положительные заключения Управления разработки и реализации программ реабилитации объектов ядерного наследия, Управления государственной экспертизы, государственного строительного надзора и разрешительной деятельности, Управления отраслевого ценообразования в строительстве и проведения стоимостных экспертиз Госкорпорации «Росатом» и была утверждена в Госкорпорации «Росатом».

В 2017 году продолжались работы по реконструкции здания стенда КМ-1 для испытаний инновационных ядерных энергетических установок.

В ходе работ выполнен демонтаж инженерных сетей, оборудования и строительных конструкций блока Б здания стенда, подготовлен котлован с устройством грунтового основания, произведен монтаж железобетонных конструкций. В блоках А и В здания стенда демонтированы инженерные сети, оборудование и строительные конструкции с последующим возведением новых стен, перегородок и усилением существующих.

В соответствии с договором между ООО научно-производственная фирма «Сосны», являющейся головным исполнителем государственного контракта, и ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» специалистами ОКЭЭР проводились работы по подготовке к вывозу ОВЧ стенда КМ-1 с территории института.

В 2017 году в соответствии с утвержденным графиком велась разработка технического проекта инновационной ЯЭУ средней мощности для энергообеспечения объектов инфраструктуры Арктики и Крайнего Севера.

Проведены испытания транспортного контейнера ТУК-143 с размещенной в нем ОВЧ на герметичность в соответствии с требованиями «Технологического регламента по обеспечению вывоза ОВЧ реактора стенда КМ-1…».

В августе 2017 ОВЧ реактора установки КМ-1, размещенная в транспортном контейнере ТУК-143, была вывезена с территории ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» на базу «СЗЦ СевРАО» филиала ФГУП «РосРАО» Мурманской области (ЗАТО «Островной»).

Реконструкция здания стенда на территории института

3. ДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, СОЗДАНИЕ ТРЕНАЖЁРОВ

3.1 Динамические исследования в 2017 году

3.2 Разработка, изготовление и заводские испытания полномасштабного и функционального тренажёров для подготовки персонала универсального атомного ледокола проекта 22220

3.3 Программно-технический комплекс «Автоматизированное рабочее место инженера-механика»

3.4 Развитие и применение расчётно-моделирующего комплекса системы технического водоснабжения НИТИ

3.5 Расчётное определение предельных уровней мощности энергетической установки при работе с частичным составом оборудования

3.6 Разработка, изготовление и поставка системы управления оборотным водоснабжением комплекса переработки радиоактивных отходов Ленинградской АЭС

3.7 Программно-технический комплекс для отладки алгоритмов управления системы управления ЯЭУ реконструируемого стенда

3.8 Расчётный анализ температурного состояния дыхательного трубопровода транспортной ЯЭУ в режиме перехода с естественной циркуляции на принудительную

3.9 Проработка концептуальных решений по созданию комплексной системы управления техническими средствами опытного образца энергоблока

3. ДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, СОЗДАНИЕ ТРЕНАЖЁРОВ

3.1 Динамические исследования в 2017 году

Тематика работ Отделения Динамических Исследований определяется широким спектром разноплановых задач, поставленных перед ОДИ руководством института. В годовом отчете НИТИ за 2017 год представлены результаты завершенных или близких к завершению работ.

Основные работы ОДИ в 2017 году, как и института в целом, были связаны с проведением экспериментальных исследований на стендах-прототипах, что обусловило значительность доли работ отделения, связанной с разработкой и 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 в обработанном виде записывается и хранится в электронных архивах и базах данных. Эта информация может быть доступна как для сотрудников НИТИ, так и для сотрудников смежных организаций.

Параллельно с работами по информационному обеспечению экспериментальных исследований в ОДИ выполнялись и расчётные исследования. В части, касающейся энергетических стендов, расчётные исследования проводились в обоснование проведения экспериментальных исследований на стенде при работе с неполным составом оборудования из-за вывода из эксплуатации двух парогенераторов и одного ЦНПК. На расчётно-моделирующем комплексе (РМК) расчётным путём определены предельные, с точки зрения безопасности и допустимых значений параметров пара, уровни мощности реакторной установки при работе в режимах естественной и принудительной циркуляции теплоносителя первого контура. Для обоснования правильности полученных расчётов предварительно проведен этап работ по верификации комплексной математической модели стенда, положенной в основу создания РМК, по экспериментальным данным, хранящихся в архивах экспериментальной информации. Более подробно эта работа представлена в отдельном сообщении.

Экспериментальные исследования на стендах-прототипах тесно связаны с техническим обеспечением инфраструктуры зданий, в которых размещаются ЯЭУ. Необходимость снижения трудозатрат на обслуживание и управление разветвленными инженерными системами стендового комплекса привела к постановке задачи автоматизации контроля и управления вентиляционными системами здания. Эта задача успешно решена специалистами отделения в рамках разработки системы «АРМ механика», которая позволяет вести мониторинг и централизованно управлять вентсистемой комплекса, обеспечивать поддержание заданного диапазона изменения режимных параметров в каждом отдельном помещении. Управление вентсистемой осуществляется с центрального пульта «АРМ механика». Такая сложная распределённая система управления инженерными системами создана в институте впервые. После её внедрения получен экономический эффект в части сокращения потребления тепловой и электрической энергии и повышения качества обслуживания вентиляционных систем сменным персоналом.

Осуществление стабильной и безопасной работы стендов-прототипов на промплощадке НИТИ зависит от надежности работы системы технического водоснабжения (СТВС). Для повышения надежности работы СТВС создан расчётно-моделирующий комплекс на базе детальной математической модели распределенной гидравлической сети СТВС промплощадки НИТИ. РМК системы технического водоснабжения верифицирован по экспериментальным данным, полученным с использованием измерительно-вычислительного комплекса АНИС. Результаты расчётных исследований на РМК различных режимов работы СТВС позволили не только установить причину возникновения аварийных ситуаций, но и сформулировать конкретные рекомендации по их исключению в дальнейшем.

Одной из наиболее важных работ, проводимых в ОДИ в 2017 году, явилась разработка и изготовление полномасштабного и функционального тренажёров для подготовки персонала универсального атомного ледокола нового поколения проекта 22220, выполняемая в рамках договора с АО «Балтийский завод». В декабре 2017 года успешно проведены заводские испытания тренажеров. Разработанные тренажёры являются современными высокотехнологичными программно-техническими средствами, созданными на основе самых передовых достижений в области математического моделирования динамики энергетических установок. В 2018 году будет проведен демонтаж, перевозка и монтаж тренажеров на площадке Заказчика, проведение приемочных испытаний.

Значительный объём работ, выполняемых в отделении, связан с разработкой комплексных систем управления ЯЭУ и техническими средствами стендовых комплексов. Одна из таких работ, проводимых в ОДИ в настоящее время, связана с проектированием комплексной системы управления новой стендовой ядерной энергодвигательной установкой мегаваттного класса для космического применения. Работы выполняются на основе разработанной и развиваемой в отделении технологии создания систем управления с использованием комплексных математических моделей динамики объектов управления, функционирующих в режиме реального времени. Результатом выполненных в 2017 году работ стали концептуальные решения по созданию КСУ ТС стендового опытного образца энергоблока (ЭБОО), которые продемонстрировали возможность создания КСУ ТС на базе использования ПТС отечественного производства. Этот результат представляется исключительно важным в условиях действия ограничительных санкций со стороны США и ЕС на поставку различных электронных компонентов систем управления. Следует отметить, что существенная часть используемой технологии создания КСУ ТС ЭБОО в виде РМК «РЕСУРС», на котором в

реальном времени моделируется динамика объекта управления, практически готова и уже сейчас может использоваться для отработки алгоритмов управления энергоблоком и для автономной отладки программного обеспечения КСУ ТС.

Другим важным направлением работ, выполненных в ОДИ в 2017 году, являются работы с выходом на завершающую стадию разработки технического проекта СУ инновационной ЯЭУ, создание первой очереди программно-технического комплекса для отработки СУ ЯЭУ на базе РМК. Успешно апробирована технология отработки алгоритмов управления установкой, разработанных организацией-проектантом в инструментальной среде SimInTech, с помощью модели объекта управления, реализованной в инструментальной среде системы ТЕРМИТ, разработанной в НИТИ.

За 2017 год получены существенные результаты в развитии системы автоматизации моделирования ТЕРМИТ в части развития сервисного программного обеспечения и интеграции в состав ТЕРМИТ системного кода улучшенной оценки КОРСАР, разработки графического редактора для ввода исходных данных и формирования расчётных схем кода КОРСАР.

По результатам работ, выполненных отделением динамических исследований в 2017 году, можно отметить их широкую номенклатуру и разноплановость, 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 при проведении испытаний на стендах-прототипах.

3.2 Разработка, изготовление и заводские испытания полномасштабного и функционального тренажёров для подготовки персонала универсального атомного ледокола проекта 22220

Д.В. Лялюев

С августа 2015 г. по декабрь 2017 г. ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в кооперации с АО «ОСК Технологии» разработаны, изготовлены и испытаны на полигоне НИТИ полномасштабный (ПМТ) и функциональный (ФТ) тренажеры, позволяющие проводить полный цикл подготовки, включая первоначальную подготовку, переподготовку и поддержание уровня квалификации оперативного персонала ЦПУ универсального атомного ледокола (УАЛ) проекта 22220.

Полномасштабный тренажер практически идентично имитирует обстановку помещения центрального поста управления и при обучении оперативного персонала позволяет отрабатывать как понятийные, так и моторные навыки управления энергетической установкой. Функциональный тренажер используется для отработки понятийных навыков и повышения знаний оперативного персонала о динамике физических процессов, происходящих в энергетической установке (ЭУ) ледокола.

ПМТ и ФТ для универсального атомного ледокола нового поколения проекта 22220

занимают особое место в ряду подобных сложных технических систем благодаря новизне и уникальности самого объекта-прототипа.

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;

Полномасштабный и функциональный тренажёры универсального атомного ледокола

– 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 на тренажере.

В составе ФТ полномасштабные имитаторы пультов заменены их информационными моделями, представленными на дисплеях компьютеров, и отсутствует СВВИ. В остальном состав ФТ аналогичен ПМТ.

Обязательным требованием к ПМТ и ФТ УАЛ является обеспечение работы операторов в реальном масштабе времени и в полном соответствии с инструкцией по управлению ЭУ УАЛ. Реальный масштаб времени работы тренажера обеспечен эффективными численными алгоритмами решения систем дифференциальных уравнений и производительностью главного компьютера, на котором производится расчёт комплексной модели ЭУ УАЛ. Главный компьютер ПМТ (такой же и на ФТ) – сервер HP DL360 Gen9 с 10-ядерным процессором IntelXeon E5-2660 в стоечном исполнении, работающий под управлением операционной системы Windows.

Система ввода-вывода информации изготовлена на основе модулей ввода-вывода WAGO I/O-System серии 750 и вместе с источниками питания смонтирована в конструктивах имитаторов пультов.

Используемые для построения сети Ethernet коммутаторы поддерживают скорость обмена 100 Мбит/с и 1 Гбит/с. Обмен с контроллерами WAGO и преобразователями интерфейса RS-485/Ethernet осуществляется со скоростью 100 Мбит/с.

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

Комплексная математическая модель, которая является основой тренажеров, разработана в интегрированной графической среде системы автоматизации моделирования ТЕРМИТ [1]. Объём моделирования тренажера включает модели 113 технологических систем и систем КСУ ТС УАЛ. Ниже представлены данные, характеризующие объём моделирования работы оборудования и систем ПМТ УАЛ:

– отсечная и регулирующая арматура ручного управления, шт. … 1000
– арматура с электро- и пневмоприводами, шт. 400
– насосы и вентиляторы всех типов, шт. 120
– теплообменники и конденсаторы, шт. 70
– баки и компенсаторы объёма, шт. 80
– турбогенераторы, шт. 2
– дизель-генераторы (аварийные и резервные), шт. 8
– штатные видеокадры АСУ ТП, шт. 402

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 [2, 3]. Для создания модели

электроэнергетической системы использовался пакет программ моделирования динамических процессов в сетях переменного и постоянного тока SELEN [4]. Для моделирования систем автоматики, регуляторов и различных вспомогательных моделей использовался пакет программ АКУЛА [5].

В соответствии с технической спецификацией на ПМТ УАЛ реализовано около 40 режимов нормальной эксплуатации, начиная с приведения установки в рабочее состояние, проведения функциональных проверок и заканчивая выводом установки из действия.

В комплексной модели силовой судовой установки реализовано более 200 нестандартных аварийных вводных, в том числе более 70 аварий, рассмотренных в предварительном отчете по обоснованию безопасности РУ УАЛ. Кроме того, по любому типовому элементу 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 тренажере осуществляется с помощью программных средств рабочего места инструктора (РМИ), работающих на двух ПЭВМ, каждая из которых укомплектована двумя мониторами. 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 тренажеров входит также рабочее место разработчика (РМР), выполненное в виде дополнительной ПЭВМ с установленным программным обеспечением системы ТЕРМИТ. РМР предназначено для проведения модернизации и сопровождения моделей тренажера исключительно силами персонала, эксплуатирующего ПМТ и ФТ УАЛ. Данная возможность является уникальной: она позволяет Заказчику получить сложнейший программно-технический продукт, полностью отчуждаемый от разработчиков тренажера. Это демонстрирует высокий уровень сервисных возможностей тренажеров.

Благодаря эффективным средствам автоматизации разработки моделей технологических систем, тренажеры разработаны, испытаны и подготовлены к поставке Заказчику в достаточно сжатые сроки в условиях недостатка и постоянных изменений исходных данных, связанных с тем, что проектирование и строительство головного УАЛ проекта 22220 проводится параллельно с работами по созданию тренажеров.

Тренажеры к настоящему времени успешно выдержали заводские испытания и заслужили высокую оценку экспертов Заказчика и членов комиссии по проведению испытаний [6].

Литература

1. Инструментально-моделирующий комплекс ТЕРМИТ. Общее описание/ А.А. Шаленинов. Инв. № Д-8139, ФГУП НИТИ им. А.П. Александрова, 2004.
2. Инструментально-моделирующий комплекс ТЕРМИТ. Пакет программ моделирования теплогидравлических сетей ПРАГИС. Описание применения/ А.В. Ипатов. Инв. № Д-8140, ФГУП НИТИ им. А.П. Александрова, 2004.

3. Инструментально-моделирующий комплекс ТЕРМИТ. Пакет программ моделирования теплогидравлических контуров АРТЕК. Описание применения/ В.А. Корчагин. Инв. № Д-8141, ФГУП НИТИ им. А.П. Александрова, 2004.

4. Инструментально-моделирующий комплекс ТЕРМИТ. Пакет программ моделирования электрических сетей SELEN. Описание применения/ И.А. Бырков. Инв. № Д-8142, ФГУП НИТИ им. А.П. Александрова, 2004.

5. Инструментально-моделирующий комплекс ТЕРМИТ. Пакет программ моделирования систем контроля и управления АКУЛА. Описание применения/ А.А. Шаленинов. Инв. № Д-8143, ФГУП НИТИ им. А.П. Александрова, 2004.

6. Акт №04-16/762 заводских (предварительных) испытаний полномасштабного и функционального тренажеров УАЛ проекта 22220 от 26.12.2017.

3.3 Программно-технический комплекс «Автоматизированное рабочее место инженера-механика»

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

Программно-технический комплекс «Автоматизированное рабочее место инженера-механика» («АРМ механика») создан для повышения эффективности работы персонала испытательного комплекса и предназначен для непрерывного контроля и управления инженерными системами здания. «АРМ механика» обеспечивает централизованное представление информации о состоянии контролируемого технологического оборудования в необходимом для эксплуатации объёме.

Актуальность задачи автоматизации контроля технологических систем здания 160 определена высокими трудозатратами, необходимыми для обслуживания территориально распределенных по зданию инженерных систем. В связи с увеличением количества технологических установок, которые в перспективе будут размещены в здании, создание «АРМ механика» в настоящее время создает условия для сокращения эксплуатационных трудозатрат в будущем. «АРМ механика» обладает широкими возможностями для увеличения количества обслуживаемых технологических систем как по количеству входных интерфейсов, так и по производительности.

ПТК «АРМ механика» реализован по классической двухуровневой схеме. Нижний уровень (НУ) ПТК «АРМ механика» представлен оборудованием технологических систем. На текущей стадии – это приточные вентиляционные системы (ВС). Верхний уровень (ВУ) состоит из системы сбора данных навесного исполнения (ССДН) и промышленного компьютера, на котором реализован пульт контроля и управления (ПКУ) инженерными системами здания. Структурная схема ПТК «АРМ механика» первой очереди, созданной в 2017 году, представлена на *рисунке 1*.

Функции ССДН – сбор данных о состоянии технологических систем и управление режимами их работы. Объём данных, вводимых из программируемых логических контроллеров (ПЛК) вентиляционных систем, определяется эксплуатационными требованиями к

инженерным системам здания. Информация о состоянии вентиляционных систем вводится из ПЛК Segnetics Pixel на основе международного протокола Modbus RTU. Управляющие команды, поступающие в ССДН от ПКУ, записываются в соответствующие регистры ПЛК также по протоколу Modbus RTU.

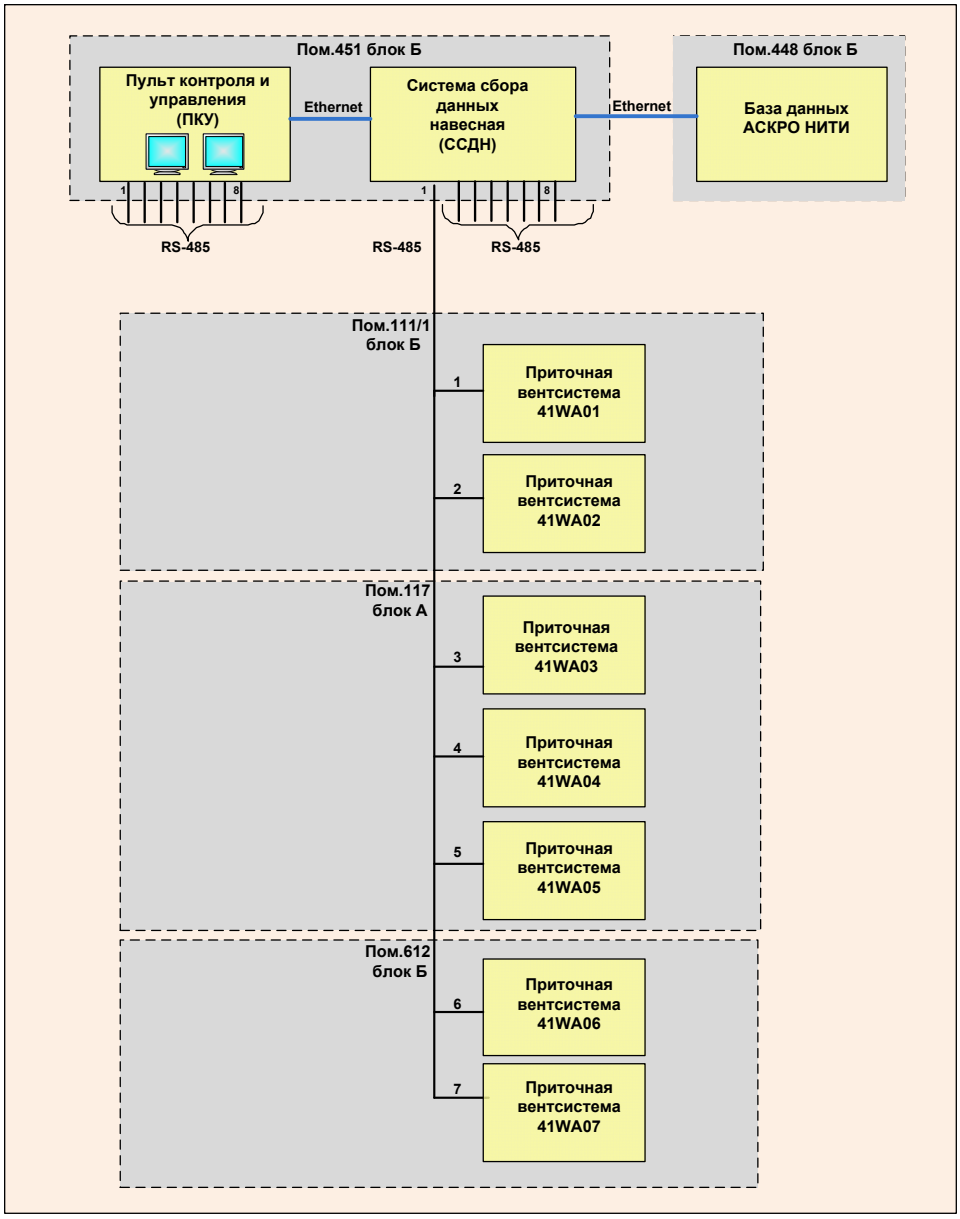


Рисунок 1 – Структурная схема ПТК ««АРМ механика»

Контроллеры вентиляционных систем подключены к ССДН по единой магистральной линии связи RS-485, которая подключена к одному входу RS-485 Moxa N-port IA 5450AI, при этом на ССДН имеются еще семь свободных входов для расширения системы. Дополнительные входы RS-485 имеются также на ПКУ, что обеспечивает возможность оптимизации топологии распределенной системы автоматизации «АРМ механика».

Функции ПКУ, который реализован на базе промышленного компьютера с двумя мониторами, – реализация ЧМИ «АРМ механика». Наличие двух мониторов ПКУ обеспечивает удвоение объёма информации ЧМИ, одновременно доступной оператору, и повышает надежность её представления. В полном объёме ЧМИ доступен с одного монитора.

ЧМИ «АРМ механика» выполнен в среде Wonderware InTouch 2014R2 – последней версии самого популярного в мире SCADA-пакета программной визуализации. Также на компьютере ПКУ находится локальная база данных (БД), реализованная средствами Microsoft SQL Server 2014, для хранения архивных данных «АРМ механика». Посредством клиента Oracle Database реализована возможность получения погодных данных из БД АСКРО, которые необходимы оператору для оптимального управления вентиляционными системами.

Функциональные возможности «АРМ механика» реализуются посредством ЧМИ, в котором можно выделить ряд функциональных подсистем, обеспечивающих решение задач автоматизированного контроля и управления вентиляционными установками:

- подсистема визуализации состояния оборудования контролируемых вентсистем, которая реализует представление оборудования в графической форме на видеокадрах и окнах ЧМИ (пример видеокадра приведен *на рисунке 2*). При этом оборудование может отображаться на видеокадрах как активными, так и пассивными элементами. В зависимости от состояния оборудования активные индикаторы, отображающие его состояние, имеют различные изображения. На видеокадрах используются также пассивные элементы, которые не отображают информацию о текущем состоянии изображенного объекта. Пассивные элементы видеокадров включают в себя фильтры, водяные калориферы и обратные клапаны. Они используются для формирования упрощенных мнемосхем ВС;
- подсистема сигнализации включает в себя звуковую и цветовую сигнализацию для «предупредительных», «аварийных» и других значимых событий, происходящих в системе. Детализация событий в системе на «аварийные» и «предупредительные» предусмотрена для минимизации времени реагирования персонала (засорение фильтров, угроза пожара, угроза замораживания теплоносителя, перегрев ТЭНа, авария основного/резервного вентилятора);
- подсистема управления реализована в окне управления вентустановкой. Подсистема управления позволяет запустить/остановить вентустановку, перевести ВС в зимний или летний режим работы, выставить требуемую температуру воздуха, подать на вентустановку команду «Сброс аварии», а также назначить основным любой из вентиляторов;
- подсистема сигнализации об отказах связи позволяет своевременно получить информацию о нарушениях связи между элементами ПТК «АРМ механика»;
- подсистема регистрации событий представляет оператору в хронологическом порядке все сообщения о регистрируемых событиях в системе, в том числе оператору предоставляются сообщения об исчезновении (ликвидации) причин «предупредительных», «аварийных» и других значимых событий. Сообщения, отображаемые в видеокадре журнала, формируются для аварий, предупреждений, отказов, сигналов о местном управлении, сигналов «о снятии тревоги» и переходу к нормальному режиму эксплуатации вентиляционных систем и для команд управления;

– подсистема архивирования позволяет получить отчет, аналогичный отчету подсистемы регистрации, на любую дату за прошедшие 30 суток. Для предотвращения переполняемости базы данных более старые отчеты ежедневно удаляются в автоматическом режиме.

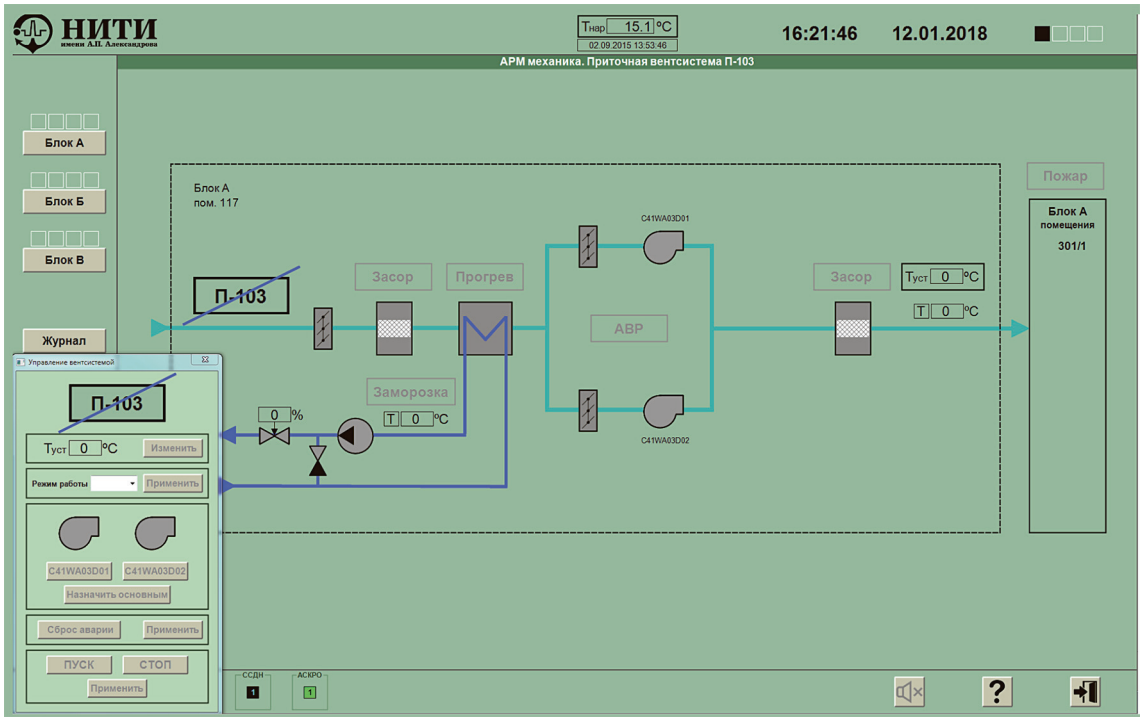


Рисунок 2 – Пример видеокадра ЧМИ ПТК «АРМ механика»

Внедрение ПТК «АРМ механика» позволило в короткие сроки добиться следующих результатов:

– повышение качества обслуживания вентиляционных систем сменным оперативным персоналом здания стенда;

– предоставление сменному инженеру-механику оперативной и достоверной информации по каждой вентиляционной системе в режиме реального времени, а также архивной информации;

– оптимальная настройка каждой вентиляционной системы благодаря точным и детальным параметрам;

– экономия времени на изменение уставок температуры воздуха, подаваемого на потребителя, и режима работы Зима/Лето, совершая это централизованно на основе ЧМИ «АРМ механика», а не по месту у каждой отдельной вентиляционной системы;

– равномерный износ каждого вентилятора за счет функции перехода по наработке;

– увеличение срока службы вентиляторов за счет плавного пуска и остановки при помощи частотных преобразователей, управляемых через ПЛК Pixel;

– сокращение времени реагирования на аварийные ситуации на контролируемых вентиляционных системах благодаря детализации вида аварии (обрыв

ремня вентилятора основного/резервного, включение АВР, защита от замораживания, перегрев ТЭН, отключение при пожаре);

– сокращение потребления тепловой энергии теплоносителя вентиляционными системами за счет использования оптимального алгоритма управления регулирующим клапаном водяного теплоносителя;

– сокращение энергопотребления ВС за счёт применения частотно-регулируемого привода.

В рамках создания ПТК «АРМ механика» был разработан комплект конструкторской, программной и эксплуатационной документации. Разработана программа и методика приемочных испытаний, по которой успешно проведены испытания.

В ближайшей перспективе к «АРМ механика» будут подключены системы учёта расхода воды и теплорегистраторов.

3.4 Развитие и применение расчётно-моделирующего комплекса системы технического водоснабжения НИТИ

Р.А. Атягин, Е.В. Зарубин, Е.А. Мельник, Т.В. Романова, М.П. Солоха, Л.И. Спиридонова, В.В. Шаталов

Расчётно-моделирующий комплекс (РМК) создан для проверки новых технических решений, проведения исследований и уточнения условий функционирования системы технического водоснабжения (СТВС). Математические модели (ММ) технологических систем подачи охлаждающей воды к основным потребителям промплощадки НИТИ и промконтуров охлаждения оборудования созданы в среде разработки ММ ТЕРМИТ-N. РМК СТВС позволяет имитировать работу системы технического водоснабжения стендов ЯЭУ от береговых насосных станций.

Информационная модель (ИМ) РМК СТВС выполнена в среде разработки и визуализации информационных моделей ГРИМ и включает видеокадры (в/к) технологических систем и несколько вспомогательных видеокадров.

Расчётные схемы системы технического водоснабжения НИТИ включены в состав ММ имитационной установки «Диана-В1М» и РМК стенда ЯЭУ для расширения их функциональных возможностей. В свою очередь, расчётные схемы РМК с охлаждаемым оборудованием промконтуров (ПК) интегрированы в РМК СТВС.

Проведена верификация модернизированного РМК по экспериментальной информации, зарегистрированной вычислительным комплексом ИВК «АНИС-В1М». По результатам верификации было получено удовлетворительное согласование расчётных данных с экспериментами.

С использованием комплекса математических моделей СТВС и РМК выполнены исследования условий снабжения технической водой потребителей стендового комплекса (СК) транспортной ЯЭУ. В ходе расчётных исследований проверены несколько вариантов, обеспечивающих безаварийную эксплуатацию стендового комплекса транспортной ЯЭУ при обе-

сточивании основного насоса СТВС.

Расширение функциональных возможностей РМК выполнено за счёт переноса и адаптации ММ систем промежуточных контуров охлаждения оборудования стендового комплекса в состав функционального тренажёра (ФТ) СУ ТС СК. Для этого ММ ФТ, разработанные в ТЕРМИТ-Д, переведены на программную платформу ТЕРМИТ-N и интегрированы в РМК СТВС.

На данный момент ИМ РМК насчитывает тридцать в/к как мнемосхем технологических систем, так и сервисных, вспомогательных и информационных. Для иллюстрации расширенной информационной модели приведены *рисунки 1 и 2*.

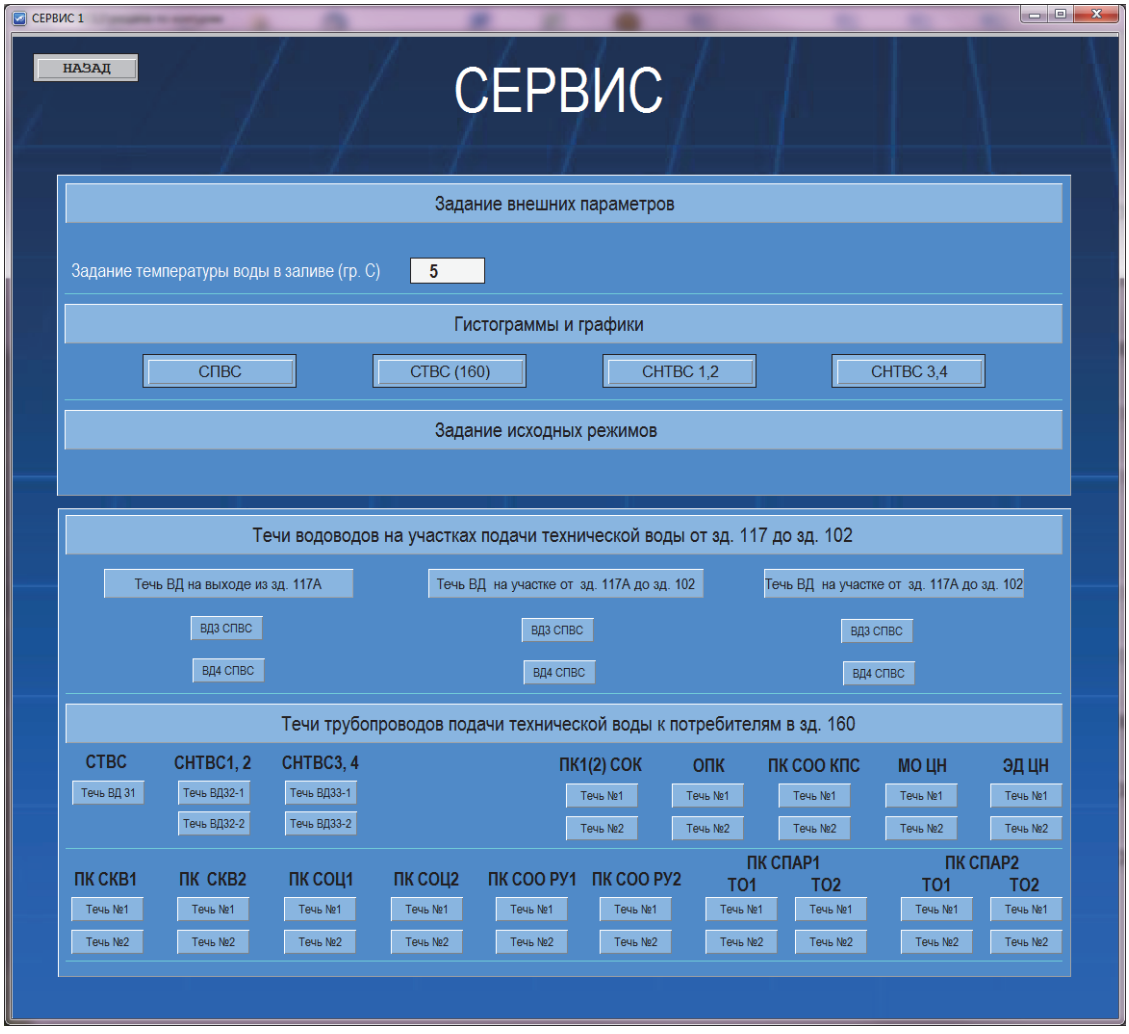


Рисунок 1 – Сервисный видеокадр задания температуры воды, течей трубопроводов и вызова информационных в/к

В свою очередь ММ и ИМ РМК СТВС использованы для создания рабочего места инструктора (РМИ) ФТ СУ ТС СК. РМИ функционального тренажёра обеспечивает визуальный контроль и управление ручной арматурой, а также даёт возможность задавать аварийные вводные, например, течи в трубопроводах.

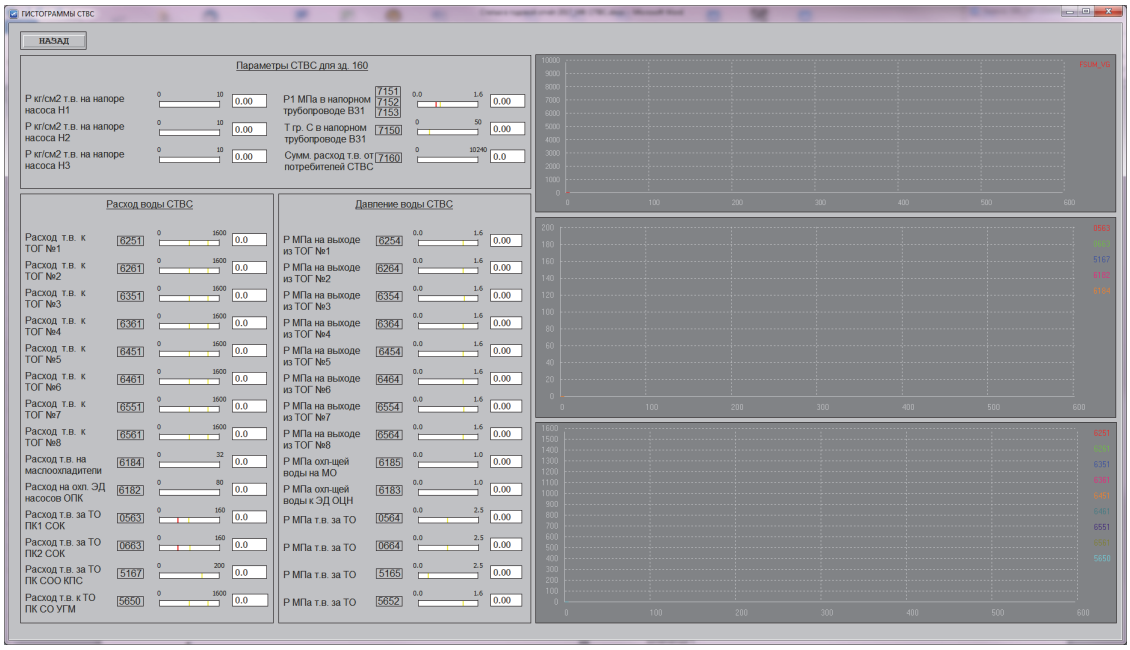


Рисунок 2 – Информационный видеокадр параметров охлаждающей воды оборудования СК ЯЭУ

Модернизация РМК СТВС и ФТ СУ ТС СК проводилась в три этапа:

– доработка математических моделей технологических систем стенда ЯЭУ, информационной модели РМК и автономная отладка;

– комплексирование и отладка РМК СТВС и ФТ СУ ТС СК;

– верификация РМК и ФТ по экспериментальным данным, зарегистрированным комплексом ИВК «АНИС-В3» во время проведения испытаний.

Удовлетворительные результаты верификации подтвердили возможность использования РМК для выполнения расчётов снабжения технической водой потребителей стенда ЯЭУ:

– исследование работы береговых насосов зд. 164 с целью определения возможности обеспечения ими нормальных условий функционирования потреблений обоих каналов СНТВС 1, 2 при использовании перемычки, соединяющей оба канала СНТВС во время проведения испытаний. Видеокадр системы подачи воды СНТВС к ПК ТС представлен *на рисунке 3*. В результате выявлено, что при работе насосов СНТВС 1, 2 первого машинного зала расход и давление охлаждающей воды по каждому теплообменнику исследуемого промконтура снижается незначительно, что не приводит к срабатыванию предупредительной и аварийной сигнализации. Использование одного из насосов СНТВС 3, 4 взамен вышедшего из строя насоса СНТВС 1, 2 оказалось нецелесообразным по его техническим характеристикам, не обеспечивающим поддержание требуемые значений параметров охлаждения промконтуров;

– участие в анализе появления повреждений трубной части теплообменников ПК ТС стенда ЯЭУ во время проведения испытаний. Видеокадр системы подачи воды СТВС к ПК ТС представлен *на рисунке 4*. Расчётные исследования показали

ошибочность выбора имеющегося теплообменника из-за несоответствия указанным в технических условиях параметрам и подтвердили предположение о снижении расхода теплоносителя до минимально допустимой величины как способа избежать появления и развития повреждений теплообменников.

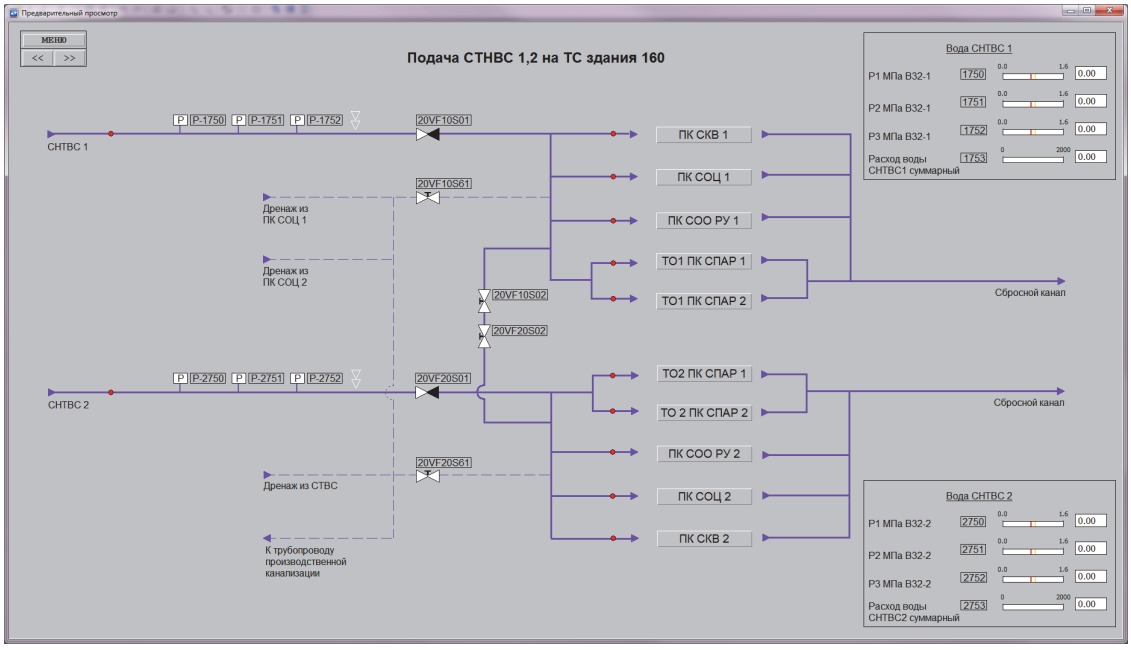


Рисунок 3 – Видеокадр системы подачи охлаждающей воды СНТВС1, 2 потребителям стенда ЯЭУ

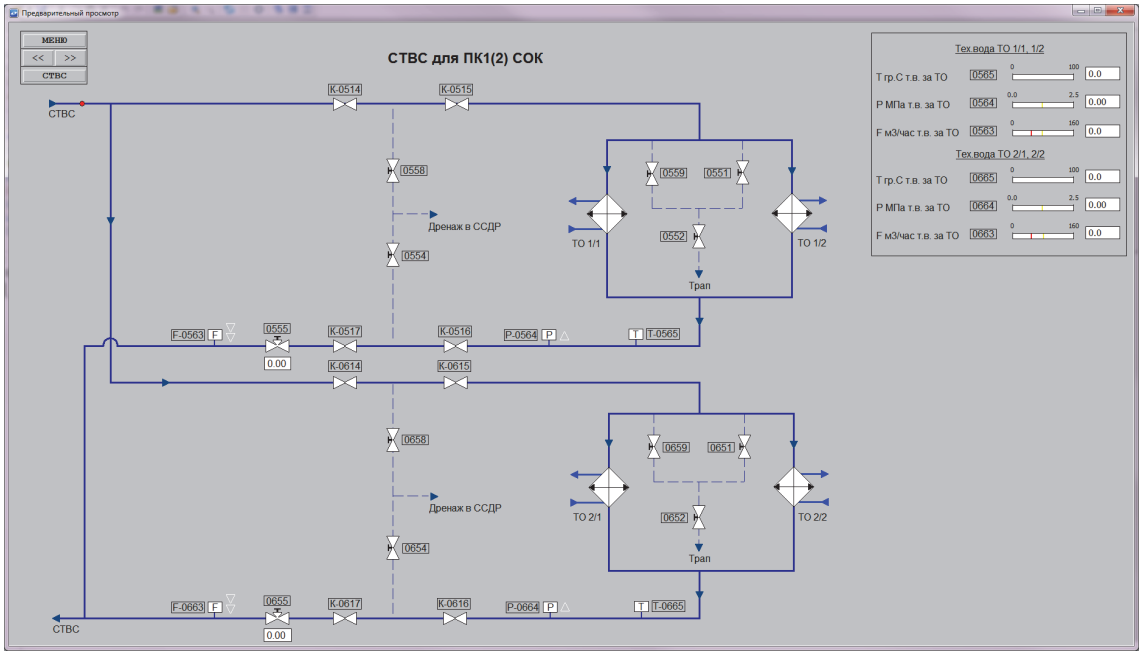


Рисунок 4 – Видеокадр системы подачи охлаждающей воды СТВС потребителям стенда ЯЭУ

Расчётно-моделирующий комплекс СТВС установлен на рабочем месте инструктора ФТ СУ ТС СК – ПЭВМ HP Elite Desk 800 G1 с одним монитором Iiyama ProLite T2451 MTS в помещении №101 здания 108а, а его мобильная версия реализована на базе ноутбука HP Protect Smart и приведена на *рисунке 5*.

Версия программного обеспечения модернизированного РМК СТВС сохранена на магнитных носителях в виде архивных инсталляторов, с помощью которых может быть произведено тиражирование РМК на стационарных или мобильных аппаратных средствах средней офисной комплектации.

Таким образом, РМК СТВС позволяет:

- отрабатывать режимы водоснабжения всех основных потребителей промплощадки НИТИ в любой конфигурации;
- проверять особенности прохождения исследуемых технологических режимов;
- выявлять ошибочные технические решения;
- выбирать характеристики технологического оборудования в строгом соответствии с характеристиками гидравлической сети СТВС.

Рисунок 5 – Навигационный видеокадр «НИТИ» мобильной версии РМК СТВС на базе ноутбука HP Protect Smart

3.5 Расчётное определение предельных уровней мощности энергетической установки при работе с частичным составом оборудования

Л.И. Спиридонова

С целью обеспечения безопасности испытаний с использованием модернизированного расчётно-моделирующего комплекса (РМК) выполнен расчётный анализ возможности работы ядерной энергетической установки с ограниченным составом основного оборудо-

вания. В расчётных исследованиях были определены предельные уровни мощности работы реакторной установки в основных режимах при условии соблюдения критериев теплотехнической надежности активной зоны и сохранения спецификационных параметров пара.

РМК представляет собой программно-аппаратный комплекс, разработанный в инструментальной среде автоматизации моделирования ТЕРМИТ-N с учётом последних изменений топологической схемы реакторной установки, и включающий в себя: модернизированную математическую модель динамики главной энергетической установки (ГЭУ); информационную модель и специальное системное программное обеспечение.

При верификации математической модели РМК использовались экспериментальные данные, зарегистрированные измерительно-вычислительным комплексом АНИС-В1М как для статических, так и для динамических режимов с полным или частичным составом оборудования реакторной установки. Результаты верификации свидетельствуют о хорошем согласовании результатов расчёта с имеющимися экспериментальными данными. Это даёт основание считать, что полученные результаты расчётов динамики реакторной установки имеют приемлемые с точки зрения практики погрешности.

В результате расчёта были определены предельно допустимые уровни мощности при работе энергетической установки с ограниченным составом основного оборудования для различных исходных состояний в соответствии с принципиальной программой испытаний. Результаты выполненных расчётов использовались при разработке рабочей программы экспериментального исследования режимов ЯЭУ, позволяющих увеличить мощность ГЭУ в предложенных в принципиальной программе режимах, без внесения изменений в техническую часть установки.

3.6 Разработка, изготовление и поставка системы управления оборотным водоснабжением комплекса переработки радиоактивных отходов Ленинградской АЭС

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

За истекший период завершены: разработка, изготовление, испытания и поставка на объект эксплуатации программно-технических средств системы управления оборотным водоснабжением комплекса переработки радиоактивных отходов (ПТК СУ СОВ) Ленинградской АЭС. ПТК СУ СОВ предназначена для контроля и управления технологическим процессом системы оборотного водоснабжения и байпасной очистки СОВ с целью обеспечения процесса водоохлаждения комплекса по переработке отходов (КПО) ЛАЭС.

Разработана проектная, конструкторская, эксплуатационная, наладочная документация на ПТК СУ СОВ, управляющей и осуществляющей контроль СОВ и позволяющей при эксплуатации, в процессе охлаждения технологического оборудования зд. 660 и зд. 460, отказаться от использования морской воды Копорской губы Финского залива. СОВ выполнена по замкнутой, резервируемой, двухконтурной схеме с использованием байпасной очистки, позволяющей сохранять экологическую обстановку в районе эксплуатации Ленинградской

АЭС в допустимых пределах. СУ СОВ смонтирована на месте эксплуатации в зданиях 660 и 665 КПО Ленинградской АЭС и находится в опытной эксплуатации.

Объём выполненных работ включал:

- механический и электрический монтаж закупленных комплектующих изделий на производственном участке института, наладку на полигоне главного конструктора и проверку функционирования;
- предварительные и приёмочные испытания. Среди них испытания на воздействие внешних факторов и ЭМС, класс безопасности по ОПБ-88/97–4Н;
- автоматизацию контроля и управления технологическим процессом системы оборотного водоснабжения и байпасной очистки с целью обеспечения процесса водоохлаждения комплекса переработки радиоактивных отходов ЛАЭС в нормальных и аварийных режимах, а также для обеспечения режима пусконаладочных и ремонтных работ;
- ввод электрических сигналов от датчиков технологического оборудования (всего 182 сигнала, из них 48 аналоговых и 134 дискретных), преобразование их в цифровой вид, математическую обработку, архивирование и отображение информации в виде мнемосхем, графиков и таблиц, а также вывод команд управления (128 сигналов управления) исполнительными механизмами в соответствии с заданными алгоритмами в режиме реального времени;
- автономную и комплексную наладку на объекте заказчика, включающей в себя проверку работы технологического оборудования и ПТС «верхнего» и «нижнего» уровня.

Внедрение СУ СОВ существенно повышает оперативность управления и безопасность эксплуатации технологического оборудования СОВ в связи с сокращением времени на анализ ситуации и принятие решений по управлению технологическим процессом. Повышение оперативности управления позволило увеличить производительность и улучшить условия труда эксплуатационного персонала, а протоколирование хода технологического процесса – улучшить общую и технологическую дисциплину.

СОВ имеет два независимых контура охлаждения основным диаметром 530 мм с номинальным расходом по каждому 950÷1000 куб. метров в час (обеспечивается 8-ю основными насосами по 160 кВт каждый) и поддерживающая перепад температур от 1,5 до 4,5 °С в каждом контуре.

ПТК СУ СОВ занесён в реестр средств измерения под номером № 60302-15, межповерочный интервал один год и выдано свидетельство об утверждении типа RU.E.34.001.A № 58363.

ПТК СУ СОВ выполняет следующие основные функции: управляющие, информационные, контроля и регистрации. Во всех режимах работы обеспечивается циклическая регистрация параметров и событий. Все события – команды управления, выход за уставки технологических параметров, типовые отказы и т.д. – регистрируются в электронном журнале событий. Информация о нарушении функций регистрации отражается на рабочем месте оператора.

Структура ПТК СУ СОВ состоит из двух уровней автоматизации – «верхний» и «нижний» *(см. рисунок 1)*. Связь между уровнями осуществляется с помощью оптической сети Ethernet, со скоростью обмена информации 100 Мбит/с.

Отказоустойчивость обеспечивается резервированием технических средств:

– на «верхнем» уровне: в составе автоматизированного рабочего места оператора, связи по сети Ethernet, силового питания переменного и постоянного тока;
– на «нижнем» уровне: в составе шкафа управления, связи по сети Profibus DP, силового питания переменного и постоянного тока.

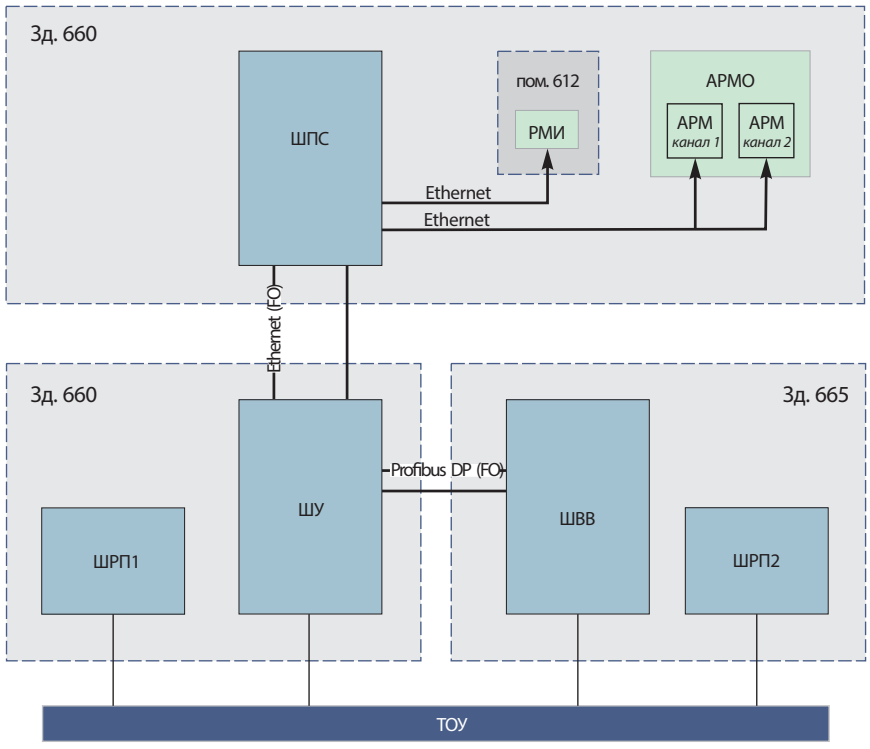


Рисунок 1– Структурная схема ПТК СУ СОВ

«Нижний» уровень обеспечивает выполнение следующих функций:

– сбор, согласование, фильтрацию и преобразование в цифровую форму информации от первичных датчиков, подавление дребезга контактов дискретных датчиков, накопление выборок мгновенных значений аналоговых сигналов и их цифровую фильтрацию;
– преобразование электрических сигналов в значения физических величин с учётом индивидуальных калибровочных характеристик датчиков;
– выдачу, цифровую фильтрацию, преобразование из цифровой формы команд управления технологическим оборудованием в аналоговые и дискретные электрические сигналы;
– передачу данных и приём дистанционных команд управления;
– автоматическое управление технологическим оборудованием.

В состав «нижнего» уровня входит следующее оборудование:

– шкаф управления выполнен в конструктиве фирмы Rittal габаритами 1850×800×600 мм, массой 250 кг, содержит: модули процессорные, модули Ethernet, модули интерфейсные, модули аналогового ввода, модули дискрет-

ного ввода/вывода фирмы Siemens, источники питания, преобразователи оптические, коммутаторы сети, модули питания, коммутационное оборудование фирмы Weidmuller, *рисунок 2*;

– шкаф ввода-вывода выполнен в конструктиве фирмы Rittal габаритами 1850×600×600 мм, массой 210 кг, содержит: модули интерфейсные, модули аналогового ввода, модули дискретного ввода/вывода, модули питания фирмы Siemens, источники питания, преобразователи оптические, коммутационное оборудование фирмы Weidmuller, *рисунок 1*;

– шкаф релейный и питания выполнен в конструктиве фирмы Rittal габаритами 1850×600×600 мм, массой 200 кг, содержит: силовое коммутационное оборудование, защитные устройства сети питания и коммутационное оборудование фирмы Weidmuller.

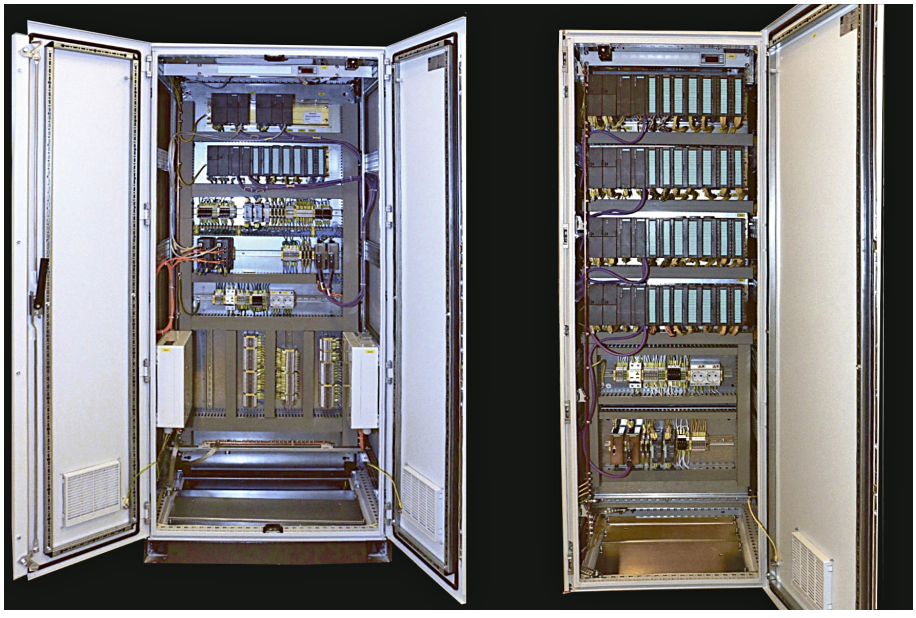


Рисунок 2 – Внешний вид шкафов ШУ и ШВВ (слева направо)

«Нижний» уровень является системой распределённого ввода-вывода – аппаратные средства находятся в разных зданиях (примерное расстояние 310 м) и информационная связь между ними реализуется на базе оптической сети Profibus DP.

Программное обеспечение «нижнего» уровня разработано на базе системы автоматизированного проектирования «Step7 Professional» с пакетом резервирования.

«Верхний» уровень обеспечивает выполнение следующих функций:

– приём данных и выдачу команд дистанционного управления;

– отображение информации в доступной для операторов форме на технологических мнемосхемах, в виде графиков, гистограмм, таблиц;

– выработку сигналов визуальной и звуковой аварийной и предупредительной сигнализации;

– ведение архивов параметров технологического процесса и журналов событий.

В состав «верхнего» уровня входит следующее оборудование:

– автоматизированное рабочее место оператора выполнено в конструктиве фирмы Rittal габаритами 845x600x600 мм, массой 150 кг, содержит: промышленные ЭВМ форм-фактора 4U, защитные устройства сети питания, силовое коммутационное оборудование и коммутационное оборудование фирмы Weidmuller;

– рабочее место оператора содержит: два монитора 22", трекбол, промышленный стол с креслом оператора; в дополнение оно продублировано с целью обеспечения непрерывности контроля и управления технологическим процессом СОВ в случае отказа промышленной ЭВМ;

– рабочее место инженера содержит: ноутбук ASUS 19", сетевое оборудование;

– шкаф питания и связи выполнен в конструктиве фирмы Rittal габаритами 1850 x600x600 мм, массой 250 кг, содержит: коммутаторы сети фирмы Siemens, источники питания, защитные устройства сети питания, коммутационное оборудование фирмы Weidmuller.

Программное обеспечение «верхнего» уровня разработано на базе системы автоматизированного проектирования «WinCC» с пакетом резервирования «WinCC Redundancy». Рабочее место оператора образует современное и многофункциональное средство контроля и управления для операторов - технологов процессов СОВ.

3.7 Программно-технический комплекс для отладки алгоритмов управления системы управления ЯЭУ реконструируемого стенда

А.М. Алексеенко, С.В. Батраков, С.А. Ганжа, Е.И. Дербуков, М.А. Ельшин, В.А. Ефимов, В.В. Зарубин, А. В. Ипатов, А.Ф. Коршунов, Д. В. Лялюев, Т.В. Романова, В.А. Чернего, В.П. Черных, А.А. Шаленинов

В процессе создания системы управления (СУ) ЯЭУ, испытания которой планируются на одном из реконструируемых стендов, используется технология проектирования и отладки программного обеспечения [1] СУ с использованием инструментально-программных комплексов моделирования. В 2017 году отделением динамических исследований проводились мероприятия по развитию испытательного полигона, на котором планируется выполнить комплекс работ по проверке технических решений и испытанию комплектов аппаратуры СУ ЯЭУ при подготовке и проведении приёмосдаточных и межведомственных испытаний СУ на стенде.

Состав технических средств ПТК

1. Программно-технические средства (ПТС) типового канала управления:

– состав прибора управления: модуль питания 140 CPS 124 20, процессорный

модуль 140 CPU 671 60S, головной модуль RIO 140 CRP 932 00, модуль связи Ethernet 140 NOE 771 11, конвертер TSX C USB MBP, коммутатор сети RS20-0800M2M2SDAE;

– состав прибора ввода-вывода: модуль питания 140 CPS 124 120, узловой модуль RIO 140 CRA 932 00, модуль аналогового ввода 140 SAI 940 00S, модуль дискретного ввода 140 SDI 953 00S, модуль дискретного вывода 140 SDO 953 00S;

– состав прибора-имитатора параметров объекта управления: модуль питания 140 CPS 124 20, процессорный модуль 140 CPU 434 12A, модуль связи Ethernet 140 NOE 771 11, головной модуль RIO 140 CRP 932 00, модуль аналогового ввода 140 ACO 130 00, модуль дискретного ввода 1400 DDI 353 00, модуль дискретного вывода 140 DDO 353 00, узловой модуль RIO 140 CRA 932 00.

2. ПТС, обеспечивающие функционирование полигона и разработку функционального и системного программного обеспечения:

   - ПЭВМ для разработки программного обеспечения для контроллеров;
   - ПЭВМ для разработки программного обеспечения СУ ЯЭУ;
   - ПЭВМ для управления моделирующим комплексом (МК);
   - универсальный сенсорный дисплейный пульт управления (УСДПУ) [2] – 5 стоек с сенсорными мониторами и 3-мя компактными компьютерами в каждой стойке;
   - сеть Ethernet (витая пара и коммутатор).

В состав разработанного программного обеспечения ПТК входит:

– функциональное программное обеспечение (ФПО), предназначенное для программной реализации задач моделирования динамики технологических систем ЯЭУ реконструируемого стенда, а также проверки технических решений и испытаний комплектов реальной аппаратуры СУ ЯЭУ на полигоне;

– системное программное обеспечение (СПО), предназначенное для управления программными и аппаратными средствами ПТК;

– комплекс инструментальных средств для разработки ФПО, сопровождения и модернизации ПО ПТК.

Функциональное программное обеспечение включает:

– комплексную математическую модель физических процессов, протекающих в оборудовании и устройствах ЯЭУ, функционирующую на вычислительных средствах МК под управлением операционной системы Windows Server 2012*64;

– информационную модель пульта управления ЯЭУ с отображением средств контроля параметров и органов управления штатного пульта ЯЭУ на экранах УСДПУ. Информационная модель реализуется на вычислительных средствах УСДПУ и функционирует под управлением операционной системы Linux;

– программную реализацию алгоритмов контроля и управления техническими средствами технологических систем ЯЭУ. Выполняется на аппаратных средствах типового канала ПТК. Разработана с использованием САПР Unity Safety XLS версии 7.0.

Системное программное обеспечение выполняет следующие функции:

- реализует связь математической модели процессов в ЯЭУ (имитатора реальной ЯЭУ) с приборами типового канала управления и ПЭВМ дисплейного пульта управления;
- управляет работой МК;
- реализует сервисные функции (построение графиков, таблиц, баз данных и др.).

Комплекс инструментальных средств включает:

- системы автоматизированного проектирования моделей физических процессов в ЯЭУ и алгоритмов системы управления – инструментально-программные комплексы ИПК «ТЕРМИТ» и ИПК SimInTech;
- систему автоматизированного проектирования функционального ПО Unity Safety XLS версии 7.0;
- SCADA – систему In Touch 2014, OPC Factor Server 3.60, FS Gateway 3.0, используемую для разработки в/к на мониторах и экранах УСДПУ.

На аппаратных средствах ПТК установлена первая версия функционального и системного программного обеспечения, позволяющая проверить функционирование ПТК.

ФПО первой версии включает в себя математическую модель ППУ с комплектом дистанционно-управляемого оборудования и контрольно-измерительных приборов.

Моделируются режимы:

- физический пуск реактора;
- разогрев ППУ;
- выведение ЯЭУ на энергетический уровень мощности при полном составе работающего оборудования ППУ;
- работа ЯЭУ в стационарном режиме на заданном уровне мощности;
- маневрирование мощностью в энергетическом диапазоне 15÷100 % Nном;
- режимы экстренного снижения мощности до уровня ограничения;
- режим расхолаживания ППУ со срабатыванием аварийной защиты реактора.

Управление ТС в нормальных режимах эксплуатации осуществляется с в/к на мониторах УСДПУ. Человеко-машинный интерфейс реального пульта управления ЯЭУ разрабатывается с использованием программной среды In Touch.

Формирование «стержневых» сигналов, определяющих состав работающего оборудования ЯЭУ и сигналов аварийных защит комплексами оборудования, осуществляется имитаторами ключей и кнопками на сенсорных панелях УСДПУ.

Программная реализация алгоритмов управления и контроля ТС выполнена на аппаратных средствах типового канала управления ТС одной из систем нормальной эксплуатации, важной для безопасности, с использованием САПР Unity Safety XLS версии 7.0.

Выполнена проверка работы функционального и системного ПО типового канала управления и контроля в составе управляющей системы нормальной эксплуатации, важной для безопасности, в объёме:

- переходы в заданных режимах мощности;
- дистанционное управление арматурой и механизмами первой и третьей петлями теплообмена с видеокадра, разработанного в SCADA системы In Touch;
- режим аварийного расхолаживания ППУ по сигналу А3;
- проверена засветка мнемознаков арматуры, механизмов, предупредительной и аварийной сигнализации на в/к УСДПУ в стационарных и переходных режимах.

ПТК функционирует в соответствии с заложенными в ПО алгоритмами в реальном масштабе времени.

Литература

1. Батраков С. В., Дербуков Е. И., Ефимов В. А., Романова Т. В., Чернего В. А., Черных В. П., Шаленинов А. А. Технология проектирования и отладки программного обеспечения системы управления стендовой ЯЭУ с использованием инструментально-программных комплексов моделирования//Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок. 2017. № 2 (8). С. 26-38
2. Витин С. П., Лялюев Д. В., Тепляков Д. Б., Черных В. П. Программно-технический комплекс с универсальным сенсорным дисплейным пультом управления для создания тренажёрных систем//Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок. 2016. № 3 (5). С. 71-74.

3.8 Расчётный анализ температурного состояния дыхательного трубопровода транспортной ЯЭУ в режиме перехода с естественной циркуляции на принудительную

Р.И. Фомичёв

В рамках исследования динамики температурного состояния дыхательного трубопровода реакторной установки типа КЛТ–40С, разработки и освоения методики решения подобных задач была создана трёхмерная компьютерная модель с использованием программных пакетов:

- сеточный генератор ANSYS ICEM CFD – создание и редактирование сеточной модели;
- пакет численного моделирования задач гидроаэродинамики – ANSYS CFX.

При построении расчётной области в сеточном генераторе рассматривалась часть дыхательного трубопровода: входное сопло (без учёта конфузора), расположенное в корпусе реактора и выходном патрубке, участок трубопровода до разветвления, тройник, а также часть трубопровода после разветвления. Выбор вышеуказанных участков связан с необходимостью:

- задания начального входного профиля скорости и последующего формирования потока теплоносителя во входном сопле;
- учёта особенностей конструкции стенки тройника, имеющего внутреннюю вставку;
- исследования особенностей течения теплоносителя в области разветвления потока.

Для данной задачи была выбрана неструктурированная тетра-сетка с призматическим слоем у границы твердой поверхности, который необходим для описания пограничного слоя потока. Общее количество ячеек порядка 1 млн. Данная расчётная сетка была экспортирована в ANSYS CFX. В препроцессоре CFX-Pre выполняется постановка граничных условий, описание физических свойств материалов, задание параметров решателя (Solver Manager).

В качестве расчётного режима был выбран переход ЯЭУ с естественной циркуляции (ЕЦ) теплоносителя на принудительную циркуляцию (ПЦ). Выбор данного режима обусловлен прежде всего сложной картиной течения теплоносителя в трубопроводе, которая сопровождается значительными изменениями температуры стенки за короткий промежуток времени.

Рассматривался турбулентный режим течения. Число Рейнольдса изменяется в диапазоне: Re = 104÷106. Во входном сечении трубопровода с помощью интерполяционного полинома задан однородный профиль скорости с учётом наличия пограничного слоя. На внешней поверхности трубопровода, находящегося в воздушном пространстве реакторного отсека, задано граничное условие третьего рода. Учитываются два механизма теплообмена стенки с окружающей средой: конвекция и тепловое излучение. Поставленная задача рассчитывалась в два этапа. На первом этапе был выполнен стационарный расчёт и определены начальные условия для последующего расчёта режима перехода с ЕЦ на ПЦ. На втором этапе рассчитывался динамический режим перехода ЕЦ – ПЦ. Параметры решателя – CFX Solver Manager:

- SST модель турбулентности с автоматическим определением зоны пограничного слоя (линейный или логарифмический участок), в которой находится пристеночная ячейка;
- High Resolution advection scheme – для интерполяции скорости на грани ячеек;
- Second order backward Euler transient scheme – для аппроксимации производных по времени;
- Turbulence numerics – High Resolution – для интерполяции скорости на грани ячеек при моделировании турбулентности.

Шаг по времени для указанных этапов расчёта выбирался с учётом необходимости удовлетворения критерию Куранта.

В результате расчёта переходного режима ЕЦ-ПЦ были получены следующие зависимости изменения температур стенки трубопровода, изображённые на *рисунке 1*.

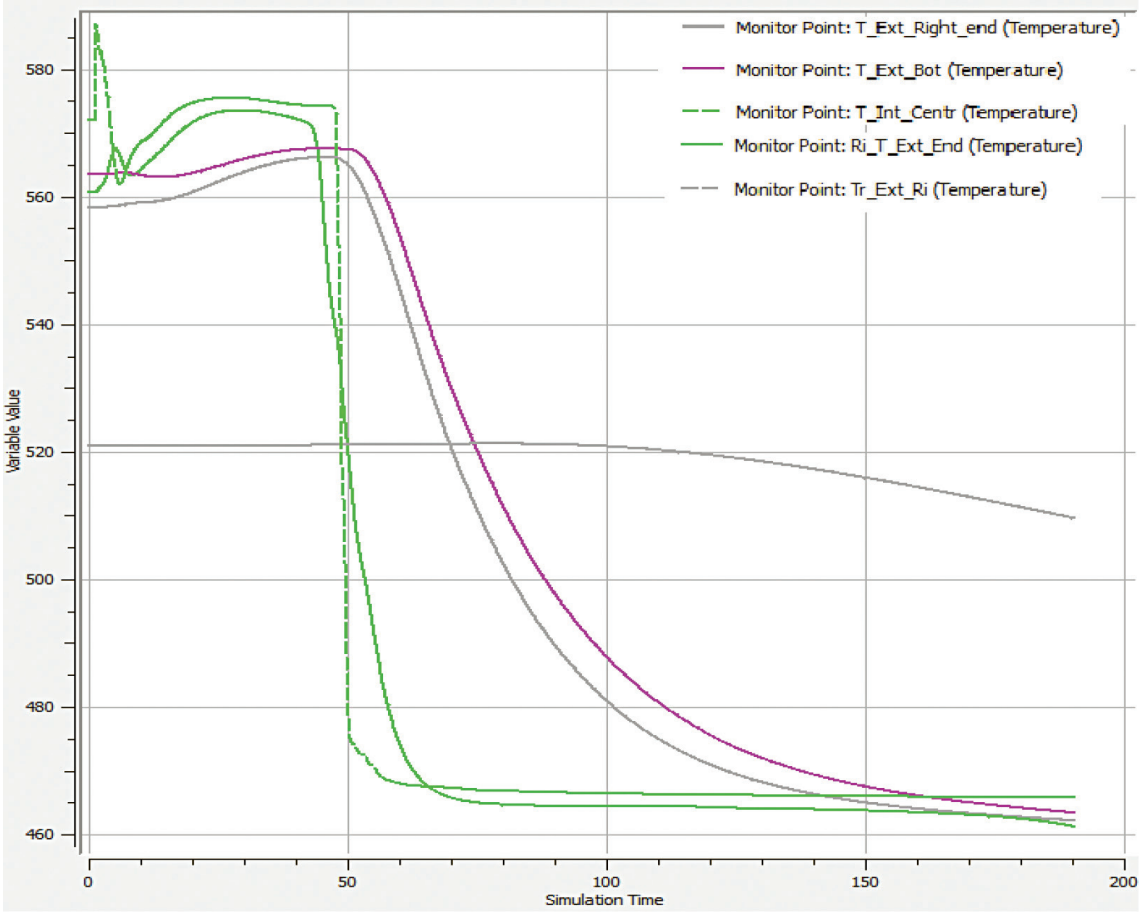


Рисунок 1 – Зависимость температуры внешней поверхности трубопровода СКД от времени при переходе ЯЭУ с режима ЕЦ на ПЦ теплоносителя:

T_Ext_Right_end – внешняя поверхность перед тройником, T_Ext_Bot – на расстоянии 0,1м от соединения сопла с трубопроводом, T_Int_Centr – в центре потока на расстоянии 0,1м от соединения сопла с трубопроводом, Ri_T_Ext_End – на расстоянии 0,1м. от выходного сечения, Tr_Ext_Ri – соединение тройника с участком 1.

Рост температуры на старте расчёта обусловлен более высокой (в сравнении со стационарным расчётом) температурой втекающего теплоносителя. Температура более тонкой стенки (*рисунок 1*, сплошная зеленая линия) изменяется быстрее, чем температура стенки на участке до тройника (сплошные серая, розовая линии), т.к. имеет меньшее термическое сопротивление – Rlc = 0,0038 м К/Вт. Термическое сопротивление участка трубы до разветвления – Rlc = 0,0064 м К/Вт.

Температура стенки тройника изменяется незначительно *(рисунок 2)*, т.к. обладает гораздо более высоким сопротивлением – Rlc = 0,2 м К/Вт. Температура стенок (кроме тройника) сравнивается с температурой теплоносителя за относительно короткий временной интервал.

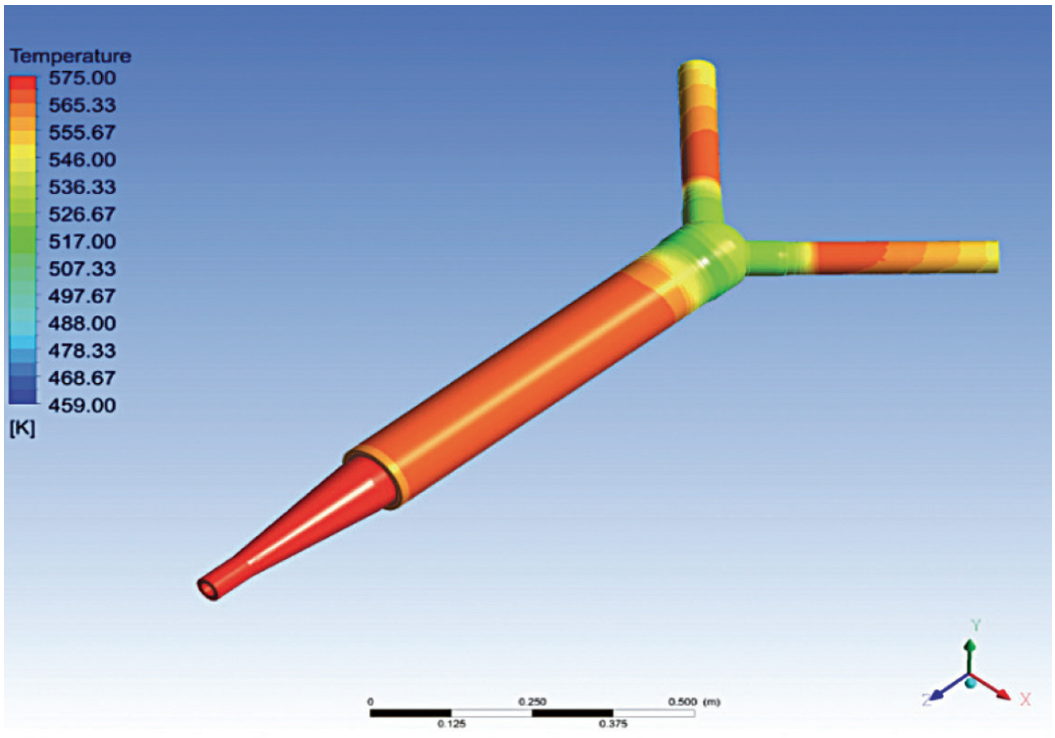


Рисунок 2 – Температура внешней поверхности трубопровода – 45 с расчёта

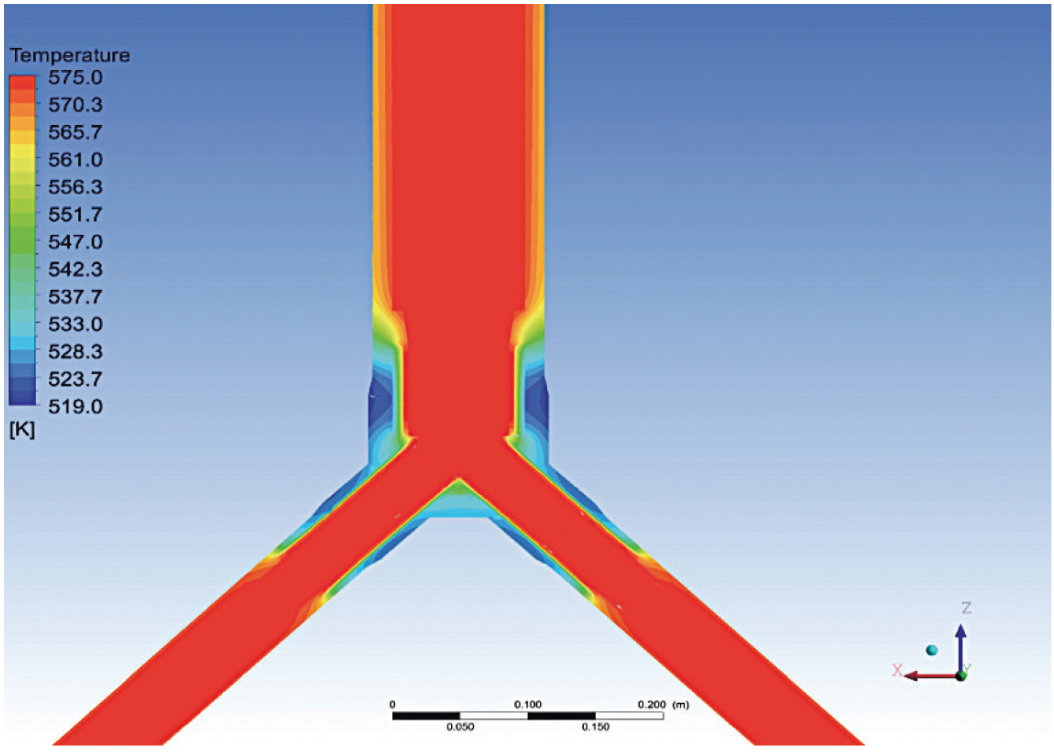


Рисунок 3 – Поле температур в осевом сечении тройника – 41,1 с расчёта

В тройнике наблюдается наибольшая температурная неоднородность, т.к. его стенка состоит из трёх слоёв (внутренняя металлическая вставка, зазор между вставкой и стенкой, стенка трубопровода) с различной теплопроводностью и толщиной *(см. рисунок 3)*. Температура внутренней вставки практически равна температуре потока теплоносителя, т.к. имеет малую толщину. В следующих слоях возникают существенные градиенты температур: в радиальном направлении в стенке – 50 °С, в продольном направлении градиент достигает 40 °С.

Тепловой поток с поверхности тройника также заметно меньше, чем с остальной поверхности трубопровода. Необходимо отметить, что при течении теплоносителя в КД, в верхней области диффузора и прямого участка трубопровода образуется вихревая структура вследствие отрыва пограничного слоя от стенок диффузора. Отрыв возникает из-за падения скорости течения теплоносителя, небольшого роста противодавления и большого значения угла раствора диффузора (12°). Образовавшаяся вихревая зона сокращает проходное сечение и препятствует выходу теплоносителя из диффузора, прижимает поток в нижнюю область трубопровода. Однако, возникающий вихрь заметно снижает влияние входной неравномерности скорости теплоносителя. С ростом скорости втекающего теплоносителя образуется одна устойчивая вихревая зона в верхней области трубопровода. Но по мере уменьшения скорости втекающего теплоносителя, вихревая зона занимает все большее пространство, а при отсутствии расхода – практически вся область участка перед тройником занята вихрем. После смены направления течения теплоносителя в трубопровод поступает более холодная вода. Образовавшиеся на первом этапе расчёта вихри сносятся потоком параллельно с распространением холодного фронта в трубопроводе. Стенки трубопровода под воздействием холодного теплоносителя быстро остывают: на 140-й секунде расчёта температуры стенки, исключая тройник, и теплоносителя практически выравниваются.

В результате расчёта режима перехода с ЕЦ на ПЦ видно, что трубопровод СКД испытывает значительные термические нагрузки, т.к. изменения температуры теплоносителя в зависимости от направления течения могут достигать 100 °С.

Необходимо отметить, что созданная модель не учитывает все особенности геометрии дыхательного трубопровода: гибы, наклоны, полную протяженность. Следовательно, при резком изменении направления течения температура теплоносителя, принимаемая в расчётах равной среднеобъёмной температуре воды в КД, в действительности может оказываться даже чуть более высокой.

Таким образом, с помощью многофункционального пакета прикладных программ ANSYS CFX создана трёхмерная модель участка трубопровода системы компенсации давления судовой ЯЭУ для расчёта температурного состояния в режиме перехода с естественной циркуляции теплоносителя на принудительную. Результаты расчёта наглядно демонстрируют гидродинамическую картину течения в трубопроводе, температурные профили в теплоносителе и стенках дыхательного трубопровода, особенности сопряженного теплообмена в канале сложной формы.

3.9 Проработка концептуальных решений по созданию комплексной системы управления техническими средствами опытного образца энергоблока

М.А. Ельшин, С.Д. Коновалов, А.Ф. Коршунов, С.В. Окунцов

Основные требования к КСУ ТС (введение)

В течение 2017 года во ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» проводилось обоснование, разработка и тестирование технических решений для создания комплексной системы управления техническими средствами (КСУ ТС) опытного образца энергоблока (ЭБ) ЯЭУ. Прорабатываемые технические решения были направлены на реализацию следующих основных принципов построения КСУ ТС:

- централизация контроля и автоматизация управления на основе иерархической структуры системы управления (СУ);
- многоуровневая система тестовых проверок и контроля программно-технических средств (ПТС) СУ, включающая оперативное обнаружение неисправностей;
- структурное резервирование для достижения требуемого уровня надежности;
- максимальная степень унификации ПТС всех систем КСУ ТС;
- применение современной элементной базы с учётом последних достижений информационных технологий и необходимости проведения работ по замещению оборудования и программного обеспечения (ПО) иностранного производства на отечественные аналоги;
- создание КСУ ТС в виде открытой системы для развития и модернизации на всём жизненном цикле ЭБ;
- учёт при проектировании КСУ ТС требований простоты эксплуатации и минимизации затрат на обслуживание.

Прорабатываемые технические решения учитывают также необходимость реализации следующих принципов обеспечения ядерной безопасности: апробированности, безопасного отказа, единичного отказа, консервативного подхода, контролируемости, независимости, необратимости, приоритетности, разнообразия и резервирования.

Разработка структурной схемы КСУ ТС

При проработке технических решений КСУ ТС выполнен анализ систем, входящих в состав ЭБ, а именно: их структуры, планируемых алгоритмов работы и особенностей эксплуатации, взаимодействий систем ЭБ друг с другом, подробно рассмотрены режимы работы ЭБ.

В частности, для системы заполнения и поддержания давления (СЗПД) проанализированы режимы пневмоиспытаний, вакуумирования, продувки, приготовления газо-конденсатной смеси (ГКС), заполнения газовых контуров, откачки ГКС и поддержания ее состава.

По результатам анализа разработаны структурные схемы локальных систем управле-

ния (ЛСУ) для всех систем ЭБ. Главным при создании ЛСУ являлось соблюдение перечисленных выше принципов обеспечения безопасности и построения КСУ ТС, а также реализация планируемых режимов работы систем ЭБ и поддержание заложенных в них структурных решений по обеспечению отказоустойчивости.

На основе разработанных структурных схем ЛСУ в процессе дальнейшей проработки предложена общая структурная схема КСУ ТС ЭБ.

Анализ программно-технических средств

Проведённый анализ применения программно-технических средств (ПТС) отечественного производства для создания систем контроля и управления (СКУ) объектами использования атомной энергии (ОИАЭ) позволил выделить основные направления развития ПТС для СКУ ОИАЭ, поддерживаемые ведущими предприятиями отечественного приборостроения, имеющими развитую производственную базу и опыт создания систем управления для атомной и космической отраслей.

По результатам выполненного анализа отмечено, что основными проблемами, сдерживающими широкое применение отечественных ПТС для СКУ ОИАЭ являются:

- использование в качестве базовой аппаратной платформы импортных микропроцессоров, что определяет основные характеристики ПТС и навязывает выбор системного и инструментального ПО зарубежных разработчиков и, как следствие, негативно влияет на уровень информационной безопасности СКУ ОИАЭ;
- необходимость непосредственного участия разработчиков ПТС в создании конкретной СКУ ОИАЭ и сопровождении ее на всем жизненном цикле;
- высокие риски при самостоятельном приобретении отдельных компонент программных и технических средств отечественного производства, связанные с трудностью комплексирования этих компонент в единую СКУ ОИАЭ и сложностью обеспечения необходимых функциональных возможностей.

Анализ рынка отечественных ПТС и оценка опыта работы ведущих российских предприятий показали, что на данный момент для создания СКУ ОИАЭ наиболее перспективным является использование выпускаемого в РФ оборудования в стандартах cPCI и VME. Это оборудование широко представлено на рынке, имеет удовлетворительные показатели надежности, необходимые сертификаты и разрешения, включает большую номенклатуру модулей ввода-вывода, коммуникационных и вычислительных модулей, в том числе модулей, выполненных на базе микропроцессоров серии «Эльбрус», разработанных и производимых в РФ. Данное оборудование поддерживается развитым отечественным ПО и позволяет построить открытый комплекс взаимоувязанных ПТС для создания АСУ ТП критически важных объектов, в том числе, для построения СКУ ОИАЭ.

Выбор программно-аппаратной платформы КСУ ТС

Дальнейшие шаги в работе были направлены на формирование требований к перспективному комплексу ПТС, в том числе к его функциональным возможностям, и на освоение отечественных аппаратных и программных платформ, выбранных на этапе анализа для создания СКУ ОИАЭ.

Совместно с разработчиками аппаратуры и ПО проведены обсуждения сформулированных требований к перспективному комплексу ПТС и начаты работы по созданию макетных образцов фрагментов СКУ ОИАЭ, что позволит опробовать технические решения, принятые при создании структуры КСУ ТС ЭБ.

В качестве базовой аппаратной платформы выбрана линейка наиболее производительных отечественных микропроцессоров «Эльбрус», дополненная модулями ввода-вывода и коммуникационными модулями отечественного производства. Данное оборудование выпускается рядом предприятий РФ, например, ПАО «ИНЭУМ им И.С. Брука», которое имеет необходимые лицензии на конструирование и изготовление оборудования для атомных станций. Вся аппаратура выполнена в открытом стандарте cPCI.

Программными платформами для создаваемых макетов служат операционные системы реального времени ОС ЭЛЬБРУС и защищённая операционная система реального времени (ЗОСРВ) «Нейтрино», поддерживающие все перспективные российские микропроцессоры. ЗОСРВ «Нейтрино» удовлетворяет требованиям по 3 классу защиты информации от несанкционированного доступа и 2 уровню контроля отсутствия не декларируемых возможностей, что позволяет обеспечить защищенность систем до класса 1Б включительно.

В качестве инструментальных средств разработки проектов служат открытая среда разработки (SCADA) Beremiz и адаптированные для микропроцессоров «Эльбрус» пакет ISaGRAF и SCADA «Фокус». Данное ПО разработано, адаптировано и сопровождается отечественными предприятиями.

В настоящее время рассматривается возможность применения в КСУ ТС разработанного в ОАО НИКИЭТ программного комплекса распределенных средств сетевой обработки КРОСС. На базе комплекса КРОСС построен ряд крупных СКУ ОИАЭ, в том числе, комплексные системы контроля, управления и защиты реакторов РБМК на энергоблоках Курской, Ленинградской и Смоленской атомных электростанций. ПО КРОСС позволяет выполнять разработку и внедрение автоматизированный систем в защищенном исполнении по категории безопасности до 1Б.

Разработка расчётно-моделирующего комплекса «РЕСУРС»

В рамках разработки на основе расчётно-моделирующего комплекса (РМК) технологии тестирования основных технических решений КСУ ТС ЭБ, автономной отладки оборудования и ПО, проверки динамики ЭБ проведены следующие работы:

- в среде моделирования «Termit-N» организована расчётная задача РМК «Ресурс» с включением основного расчётного модуля «COSM», моделей систем ИК и моделей системы отображения информации;
- проведены вычислительные тесты для анализа производительности отдельных модулей расчётного кода и обеспечения РМК требований режима реального времени счета;
- проведённый анализ возможностей РМК «Ресурс» показал, что комплекс может быть использован для тестирования технических решений, принимаемых при проектировании КСУ ТС ЭБ, в том числе для проведения автономной отладки оборудования и ПО КСУ ТС и проверки качества алгоритмов управления ЭБ.

Заключение

Выполненная в течение 2017 года проработка концептуальных решений подтвердила возможность создания КСУ ТС ЭБ с соблюдением всех требований безопасности в планируемые сроки. КСУ ТС ЭБ может быть построена с использованием, замещающих импортные ПТС, отечественных аналогов.

Создаваемый расчётно-моделирующий комплекс «Ресурс» позволит при разработке КСУ ТС ЭБ выполнить отработку алгоритмов управления, используя для этого как математическое моделирование, так и возможность физического подключения управляющих контроллеров к модели объекта. Данная технология использования РМК была успешно применена при разработке, отладке и сдаче в эксплуатацию ряда сложных программно-технических систем, в создании которых во ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» накоплен большой опыт.

4. НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1 Исследование температурного режима твэлов активной зоны энергетического стенда в динамических режимах на основе сопряжённых нейтронно-физических и теплогидравлических расчётов

4.2 Верификация комбинированного расчёта потвэльного энерговыделения в комплексе программ САПФИР_95&RC_ВВЭР

4.3 Научно-исследовательские разработки ОТФИ

4.4 Основные результаты исследований на интегральном теплогидравлическом стенде

4.5 Оценка неопределённости замыкающих соотношений теплогидравлических расчётных кодов

4. НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Нейтронно-физические исследования

Концепция испытаний энергетического оборудования транспортных ЯЭУ предусматривает не только непрерывную регистрацию экспериментальных данных, но и расчётное сопровождение испытаний, которое не менее важно, чем сам эксперимент, так как позволяет правильно интерпретировать результаты эксперимента и делать прогнозные выводы по этим результатам.

Следует заметить, что потребности практики заставляют, а возможности вычислительной техники позволяют, достаточно подробно моделировать поведение ЯЭУ. В части физики активной зоны исследователи углубляются вплоть до поведения в экспериментальных режимах отдельных твэлов, что и продемонстрировано в двух статьях, вошедших в настоящий годовой отчёт.

4.1 Исследование температурного режима твэлов активной зоны энергетического стенда в динамических режимах на основе сопряженных нейтронно-физических и теплогидравлических расчётов

В.Г. Артёмов, Л.М. Артёмова, Д.Ю. Бессонов, П.А. Михеев, А.В. Пискарев

Введение

Работа выполнена в рамках расчётного сопровождения испытаний, проводимых на стенде-прототипе ЯЭУ НИТИ. Расчёты проведены с использованием комплекса программ САПФИР_ВВР95-RC [1] и расчётного кода КОРСАР/BR [2]. Подготовленные расчётные модели позволяют проводить реалистическую оценку характеристик РУ.

Общее описание методики расчёта

Конечной целью расчётов является оценка температурного режима твэлов, который, с одной стороны, определяется распределением энерговыделения, а с другой – эффективностью охлаждения. Распределение энерговыделения есть результат нейтронно-физического расчёта, параметры теплоносителя – результат теплогидравлического расчёта. Существует взаимная связь между параметрами теплоносителя и реактивностью реактора, поэтому реалистичности расчётной модели можно добиться только на основе сопряжения нейтронной физики и теплогидравлики.

Потвэльный расчёт динамического режима для всей активной зоны требует значительных затрат вычислительных ресурсов. Поэтому реализован подход, при котором потвэльному моделированию подлежат только некоторые ТВС , в которых наиболее вероятно реализуются наихудшие температурные условия эксплуатации твэлов. Данная методика была отработана при анализе характеристик ВВЭР [3] и РУ стенда транспортной ЯЭУ [4]. Полный комплекс расчётов, необходимых для решения поставленной задачи, крупными мазками изображен на *рисунке*.

Рисунок – Подход к оценке потвэльных характеристик активной зоны ЯЭУ в динамическом режиме

Библиотека малогрупповых констант для уравнения диффузии нейтронов в реакторе и функционалы для последующего определения потвэльного энерговыделения готовятся на основе нейтронно-физических расчётов характеристик ячеек тепловыделяющих сборок

(ТВС) с использованием программы САПФИР_ВВР95. Расчёт характеристик ячеек проводится при вариации параметров состояния ТВС: изменяются выгорание, температура топлива, температура теплоносителя, положение органов регулирования и т.п.

На втором шаге осуществляется расчёт выгорания активной зоны в программе RC. Конечной целью данного шага является получение распределения по активной зоне осколков деления на данный момент кампании, которое будет использовано на следующем шаге при моделировании динамического режима.

При анализе динамического режима с использованием расчётного кода КОРСАР/BR сначала проводится расчёт в поканальном приближении (третий шаг), когда каждая ТВС описывается одним эквивалентным каналом и одним эквивалентным твэлом. Такой расчёт позволяет сравнить температурное состояние твэлов во всех ТВС активной зоны и выбрать ТВС для последующего более детального расчёта. Более детальный (потвэльный) расчёт позволяет уточнить полученные на данном этапе результаты. Для этого в процессе расчёта формируется текстовый файл, в который в каждый момент времени для выделенных ТВС записываются распределенные по высоте двухгрупповые потоки нейтронов, рассчитанные на учащенной конечно-разностной сетке с 24 точками на ячейку ТВС, а также усредненные по сечению ТВС теплогидравлические параметры. Информация файла параметров выделенных ТВС наряду с данными о распределении выгорания по высоте ТВС является входной для программы расчёта потвэльного энерговыделения (четвертый этап).

Алгоритм расчёта относительного энерговыделения в твэлах (программа RCmicro) основан на предположении, что распределение плотности потока нейтронов можно представить в виде суперпозиции макро- и микрополей. Микрораспределение плотности потока нейтронов и скоростей деления в твэлах рассчитывается программой САПФИР_ВВР95 методом «вероятности первых столкновений». Расчёт проводится с условиями зеркального отражения на внешних границах расчётной ячейки, в состав которой входят ТВС и окружающий ее межканальный теплоноситель. Относительное энерговыделение в твэлах вычисляется как произведение плотности потока нейтронов в расчётном объёме твэла на макроскопическое сечение деления и относительные значения скоростей деления в твэлах, отнесенное к энерговыделению в активной зоне. В результате работы программы RCmicro для выделенной ТВС формируется файл, содержащий для каждого зарегистрированного момента времени нестационарного процесса распределения относительного энерговыделения по всем твэлам сборки.

Наконец, на заключительном этапе вновь запускается теплогидравлический код КОРСАР/BR на этот раз с файлом входных данных, описывающим выделенную ТВС в потвэльном приближении и поячейковом представлении проточной части. Каждый твэл моделируется как отдельный источник тепла с энерговыделением, рассчитанным программой RCmicro. Межтвэльное пространство моделируется набором параллельных каналов. Между расчётными ячейками соседних каналов, расположенных в одном высотном слое, в поперечном направлении устанавливается гидравлическая связь. Площадь поперечного сечения каждого канала рассчитывается, исходя из его реального расположения относительно конструкционных элементов ТВС (кожух, пластинчатый вытеснитель, СВП, твэл). Каналы моделируются в общих граничных условиях: перепад давления и входная температура, переданные из поканальной модели.

Исследования, проведенные с использованием потвэльной модели

В 2017 году был проведен расчётный анализ температурного состояния твэлов в двух динамических режимах:

- в режиме нормальной эксплуатации при переходе с естественной циркуляции теплоносителя первого контура на принудительную;
- в аварийном режиме с падением одной из частей КГ по сценарию, предусмотренному в техническом обосновании безопасности (ТОБ) РУ, с учётом изменившихся условий эксплуатации.

Переход с одного режима циркуляции на другой является штатной процедурой. Включение циркуляционного насоса сопровождается всплеском мощности. Поэтому инструкция предписывает проводить такой маневр при сниженной мощности. Учитывая, что неравномерность энерговыделения возрастает по мере увеличения энерговыработки, были проведены расчётные исследования по обоснованию проведения таких маневров с прогнозом до конца кампании.

Прогнозный расчётный анализ этого режима выполнен в реалистическом приближении с использованием трёхмерной модели активной зоны, что предполагает проведение верификации расчётной модели на основе экспериментальных данных, зарегистрированных в ходе аналогичных экспериментов, проведенных в НИТИ ранее. Зарегистрированная информация позволила настроить и верифицировать расчётную модель: расчётная модель адекватно воспроизвела изменение мощности, а также изменения входной и выходной температур теплоносителя.

На основе прогнозных расчётов был сделан вывод о том, что температурный режим твэлов в последующих циклах испытаний не ухудшится по сравнению с текущим моментом кампании, что гарантирует теплотехническую безопасность дальнейшей эксплуатации.

Анализ аварийного режима с учётом изменившихся условий эксплуатации был выполнен также с использованием трёхмерной сопряженной нейтронно-физической и теплогидравлической модели, опирающейся на реалистическое (без консервативных допущений) описание процессов.

Технология расчётных исследований в обоснование безопасности с использованием реалистических моделей в настоящее время еще отрабатывается. Одним из перспективных направлений является применение метода анализа неопределённости и чувствительности [5], применение которого требует проведения многовариантных расчётов. Поскольку целью данной работы была проверка результатов расчётного обоснования, приведенного в ТОБ РУ с учётом изменившихся условий эксплуатации РУ, то была использована более простая схема расчётов, которая включала следующие этапы:

1. Повторение расчётов, представленных в ТОБ РУ, с воспроизведением условий расчёта (момент кампании, точечная модель кинетики, консервативные допущения).
2. Проведение аналогичного расчёта с использованием реалистической трёхмерной модели для того же момента кампании и тех же параметров РУ.
3. Проведение прогнозных расчётов с использованием реалистической модели для условий эксплуатации РУ в предстоящих циклах испытаний.

В своих расчётах Главный конструктор использовал приближение точечной нейтронной кинетики. Применение приближения точечной нейтронной кинетики опирается на ряд допущений относительно нейтронно-физических характеристик активной зоны.

При кажущейся простоте модели основная сложность воспроизведения такого расчёта связана с субъективностью методики выбора наиболее консервативных параметров модели. Поскольку в материалах ТОБ РУ стенда ЯЭУ отсутствует обоснование консервативности выбранных параметров кинетики, то в настоящей работе был проведен независимый комплекс расчётов изменения характеристик, определяющих безопасность РУ, в соответствии с постулируемым сценарием аварийного режима с использованием модели точечной нейтронной кинетики. На основе вариантных расчётов удалось вполне удовлетворительно воспроизвести изменение параметров РУ, приведенное в ТОБ.

Этот же режим моделировался в реалистическом приближении с использованием распределенной модели нейтронной кинетики с потвэльным представлением выделенных ТВС. Результаты расчётов показали, что температурный режим твэлов при реалистическом описании мягче, чем режим, полученный с использованием модели точечной кинетики.

При этом было уточнено положение ТВС с максимальной температурой топлива. По результатам потвэльного моделирования выделенных ТВС было обнаружено, что наибольшая температура топлива достигается в ТВС, которая не является наиболее энергонапряженной – следствие наложения общего градиента энерговыделения, обусловленного составом активной зоны, на потвэльную неравномерность энерговыделения, обусловленную внутренним строением ТВС.

С использованием реалистической модели были выполнены прогнозные расчёты этого же аварийного режима по сценарию, учитывающему изменение условий эксплуатации в оставшуюся часть кампании. Расчётные исследования показали, что при принятых ограничениях мощности для планируемых циклов испытаний РУ установки температурное состояние твэлов в аварийном режиме с падением одной из частей КГ будет не хуже, чем в условиях работы РУ, обоснованном в ТОБ для проектного режима эксплуатации.

Заключение

Подводя итог, следует отметить, что применение современных расчётных комплексов реалистического описания процессов, происходящих в РУ, предъявляет повышенные требования к глубине детализации расчётной модели, а также процессу ее настройки и верификации. Однако, затраченные усилия и время окупаются на этапе анализа полученных результатов, которые содержат исчерпывающие данные по потвэльному распределению энерговыделения и температур, и не содержат неопределённости, связанной с субъективностью выбора «средних» или консервативных параметров, характерной для моделей с точечной нейтронной кинетикой.

Литература

1. Комплекс программ САПФИР_ВВР95-RC с библиотекой констант БНАБ-78/С-95. Аттестационный паспорт программного средства № 261 от 23.09.2009. Ростехнадзор.
2. Программный комплекс КОРСАР/BR. Аттестационный паспорт программного средства № 355 от 17.04.2014. ФБУ «НТЦ ЯРБ».

3. Сопряженные нейтронно-физический и теплогидравлический расчёты при анализе температурного состояния твэлов / Артёмов В.Г., Артёмова Л.М., Коротаев В.Г., Михеев П.А., Шемаев Ю.П. // Научно-технический сборник. Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок, №3(5), 2016 – С. 37-47.

4. Применение потвэльной нейтронно-физической модели для исследования температурного состояния твэлов в аварийных режимах реакторных установок / Артёмов В.Г., Артёмова Л.М., Коротаев В.Г., Михеев П.А., // Научно-технический сборник. Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок, №2(8), 2017 – С. 15-25.

5. Некоторые аспекты применения метода анализа неопределённости и чувствительности в сопряженных нейтронно-физических и теплогидравлических расчётах / Артёмов В.Г., Артёмова Л.М., Коротаев В.Г., Михеев П.А. // Научно-технический сборник. Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок, №3(5), 2016 – С. 25-36.

4.2 Верификация комбинированного расчёта потвэльного энерговыделения в комплексе программ САПФИР_95&RC_ВВЭР

В.Г. Артёмов, Л. М. Артёмова, А.С. Иванов, А.Н. Кузнецов, А.В. Пискарев

Введение

В 2017 году была проведена верификация нового для комплекса программ САПФИР_95&RC_ВВЭР метода расчёта потвэльного энерговыделения – комбинированного мелкосеточного диффузионного расчёта (pin by pin).

В комплексе программ САПФИР_95&RC [1], аттестованном в Ростехнадзоре РФ для расчёта нейтронно-физических характеристик реакторов типа ВВЭР, расчёт потвэльного энерговыделения производится методом суперпозиции микропотока нейтронов в ТВС и макропотока в реакторе. Достоинство этого метода в том, что он моделирует микрораспределение энерговыделения в ТВС сложной конструкции, включающей разные типы твэл, поглотителей, конструкционных элементов в процессе выгорания на основе детального решения уравнения переноса в ячейке в бесконечной решетке. В комплексе программ САПФИР_95&RC расчёт микропотока производится в программе САПФИР_95 методом вероятностей первых столкновений. При этом макропоток нейтронов рассчитывается в диффузионном приближении во всей активной зоне с 24 расчётными точками на ТВС в программе RC. Такой подход делает расчёт достаточно оперативным, однако при этом моделирование конструкции элементов отражателя выполняется упрощенно, что вносит элемент неопределённости в расчёт энерговыделения в твэлах периферийных ТВС. Аналогичные проблемы возникают при моделировании потвэльного энерговыделения в ТВС, граничащими с регулирующими кассетами (АРК) в ВВЭР-440.

Под мелкосеточным (pin by pin) расчётом потвэльного энерговыделения понимается трёхмерный расчёт реактора, в котором расчёт потвэльного энерговыделения осуществляется на конечно-разностной сетке, соответствующей шагу расстановки твэлов в ТВС. Мелкосеточный расчёт даёт возможность детально моделировать элементы конструкции отражателя и учитывать их влияние на поведение потока нейтронов на его границе. Однако, если рассчитать все характеристики реактора в процессе выгорания с учётом перегрузок топлива и обратных связей мелкосеточным методом, это приводит к усложнению модели и большим затратам ресурсов ЭВМ.

Для внедрения мелкосеточного метода в практику инженерных расчётов в комплексе программ САПФИР_95&RC использована комбинированная схема расчёта. В этом случае выгорание в твэлах и температурные характеристики твэлов задаются как входные параметры. При этом расчёт потвэльного энерговыделения комбинированным методом проводится в два этапа. На подготовительном этапе выполняется расчёт потвэльного выгорания предшествующих загрузок на основе потвэльного энерговыделения полученного методом суперпозиции [2]. Эти данные используются на втором этапе в качестве граничных условий (потвэльных распределений выгорания, температуры топлива и плотности теплоносителя) при расчёте одного или серии состояний мелкосеточным методом.

Мелкосеточные расчёты выполняются с использованием программы САПФИР_95&RC_micro, которая разработана на базе программы САПФИР_95&RC_ВВЭР [3], и включена в комплекс в качестве отдельного модуля. Для облегчения подготовки исходных данных и представления результатов расчётов подготовлен пакет сервисных программ [4].

Результаты верификации

При верификации комбинированного метода расчёта была составлена матрица верификации, которая включала в себя как сравнение с расчётными тестами, выполненными с помощью прецизионных программ методом Монте-Карло, так и сравнение с экспериментальными данными, полученными на АЭС и на критических сборках. В ходе верификации оценивалась не только методическая погрешность, но и оптимальное число энергетических групп в расчёте потвэльного энерговыделения.

При определении методической погрешности давалась оценка приближений, использованных при реализации мелкосеточного расчёта в комплексе программ САПФИР_95&RC_ВВЭР. В частности, для корректного моделирования нейтронного потока в межкассетном зазоре малогрупповые константы соответствующих микроячеек поправляются с использованием весовых функций («коэффициентов сжатия»), в первом приближении, пропорциональных отношению реального объёма межкассетного зазора к объёму микроячейки, его моделирующему. Оценка влияния использования коэффициентов сжатия на точность расчёта потвэльного энерговыделения контролируется с использованием расчётов методом суперпозиции, в котором межкассетный зазор моделируется точно. Окончательная оценка погрешности выполнена в сравнении с реперными расчётами, выполненными методом Монте-Карло.

На границах активной зоны с отражателем и поглотителями (кассеты АРК ВВЭР-440) в программе САПФИР_95&RC_micro предусмотрена возможность использования обобщенных граничных условий (ОГУ) для задания различных условий сшивки для плотности потоков и токов нейтронов.

В матрицу верификации включены численные тесты для решеток ТВС, численные тесты, имитирующие активные зоны реакторов ВВЭР-1000, ВВЭР-1200 и ВВЭР-440, эксперименты на сборках, имитирующих решетки активных зон ВВЭР. Для демонстрации возможности комбинированного метода для трёхмерного расчёта нейтронно-физических характеристик ВВЭР представлены результаты моделирования выгорания первой и второй загрузок второго блока Ростовской АЭС.

Для оценки методической погрешности диффузионного приближения при расчёте потвэльного энерговыделения в ТВС использованы тестовые задачи для решеток ТВС ВВЭР-1000 с различными типами поглотителей, используемых для СВП, регулирующих стержней и твэгов. Результаты сравнивались с аналогичными расчётами методом Монте-Карло.

Расчёт выгорания решетки ТВС ВВЭР-1000 с твэгами показал, что мелкосеточный метод обеспечивает точность расчёта энерговыделения в твэгах не хуже 5%.

Для определения методической погрешности мелкосеточного метода на границе активной зоны и отражателя было проведено сравнение результатов расчётов потвэльного энерговыделения с результатами расчётов методом Монте-Карло для одного из вариантов первой загрузки реактора АЭС-2006 для широкого диапазона плотностей теплоносителя (от 0,3 г/см^3 до 0,8 г/см^3). Реперные расчёты были выполнены специалистами АО «ОКБ ГИДРОПРЕСС» с использованием программы MCNP. Сравнение потвэльного энерговыделения проводилось в кассетах на границе с отражателем, где наблюдается резкий градиент поля энерговыделения и в которых диффузионный расчёт дает, как правило, большие погрешности. Сравнение показало, что при использовании двухгруппового приближения для расчётов мелкосеточным методом необходимо использовать обобщенные граничные условия на границе с боковым отражателем. Коэффициенты ОГУ подбираются на основе сравнения с реперными расчётами. При использовании шестигруппового приближения в данном наборе тестов использовать обобщенные граничные условия не потребовалось.

В связи с возможностью использования в перспективе для реакторов ВВЭР МОХ-топлива были проведены расчёты потвэльного энерговыделения в кассете с МОХ-топливом, расположенной в окружении обычных ТВС. Результаты сравнивались с тестом аналогичной конфигурации, в которой вместо кассеты с МОХ-топливом стоит ТВС с обычным урановым топливом. В качестве реперного был взят результат расчёта такой активной зоны методом Монте-Карло аттестованной программой TDMCC (Time dependent Monte Carlo Code) [5, 6], выполненной специалистами АО «ОКБ ГИДРОПРЕСС». Сравнение с результатами расчётов мелкосеточным методом показало, что погрешность расчёта в ячейке с МОХ-топливом такая же, как и для обычной ячейки.

Для определения методической погрешности расчёта потвэльного энерговыделения в ТВС, граничащих с поглотителем кассеты АРК ВВЭР-440, использован международный бенчмарк FULL-CORE VVER-440 [7, 8], который был создан специально для определения погрешности таких расчётов. Сравнение результатов расчётов с реперными данными бенчмарка показали, что на границе кассеты АРК необходимо применять обобщенные граничные условия, причем как для двух-, так и для шестигруппового расчёта.

Для верификации расчёта потвэльного энерговыделения в сравнении с экспериментальными данными моделировались критические эксперименты на сборках ZR-6 [9], в которых имитировались решетки твэлов ВВЭР. Отличительной особенностью этих сборок является малый размер активных зон, окруженных водой. Такая конфигурация приводит к

существенному влиянию на энерговыделение в периферийных твэлах, утечки нейтронов в быстрой области энергий и притоку нейтронов в активную зону в тепловой области энергий. Сравнение расчётов потвэльного энерговыделения с результатами измерений показало, что для этих сборок применение шестигруппового приближения уменьшает отличие расчётных и экспериментальных значений в сравнении с двухгрупповыми расчётами.

Результаты моделирования выгорания реальных загрузок (первая и вторая загрузки второго блока Ростовской АЭС) выполнены с использованием комбинированного мелкосеточного метода (потвэльное выгорание рассчитывается методом суперпозиции) и прямым методом (выгорание рассчитывается в процессе мелкосеточного расчёта). Оба результата сравнивались с полученными на блоке оценками покассетного энерговыделения. Полученные результаты показали, что различие между двумя расчётами мало и оно существенно ниже, чем отклонение от экспериментальных значений. При этом для обоих подходов отличие результатов расчётов от эксперимента в течение кампании не увеличивается в сравнении с начальным невыгоревшим состоянием. Сопоставление результатов расчётов потвэльного энерговыделения, полученных комбинированным и прямым методом, показало также их хорошее согласие между собой при различных уровнях выгорания. Различия энерговыделения в твэлах не превышают 1 %, что подтверждает достаточную точность расчёта выгорания при использовании комбинированного метода.

Заключение

Результаты тестовых расчётов и результаты моделирования энерговыделения в процессе выгорания реальных загрузок ВВЭР показали, что комбинированный мелкосеточный метод расчёта, включающий расчёт распределений выгорания топлива в твэлах на основе метода суперпозиции, не уступает по точности прямому мелкосеточному методу расчёта выгорания и энерговыделения в твэлах. При этом комбинированный метод расчёта позволяет в десятки раз сократить время расчёта.

На основе анализа результатов верификации сделано заключение, что при использовании мелкосеточного расчёта шестигрупповое приближение даёт лучшее согласие с реперным расчётом, чем двухгрупповое. Использование двухгруппового приближения так же обеспечивает необходимую точность расчёта потвэльного энерговыделения, но для этого необходимо использовать дополнительную корректировку коэффициентов обобщенных граничных условий в областях с резким градиентом потока.

Литература

1. Артёмов В.Г., Артёмова Л.М., Ельшин А.В., Иванов А.С., Карпов А.С., Пискарев А.В., Сергеев В.К., Шемаев Ю.П. Создание комплекса программ для расчёта нейтронно-физических характеристик реакторов типа ВВЭР. Технология и системы обеспечения жизненного цикла ядерных установок // Сб. научных трудов, вып.5. ФГУП «НИТИ им. Александрова». С.П-б, изд. «Менделеев», – 2007. – С. 20–34.
2. Артёмов В.Г., Иванов А.С., Кузнецов А.Н., Шемаев Ю.П. Комбинированный метод расчёта потвэльного энерговыделения в комплексе программ САПФИР_95&RC_ВВЭР // ВАНТ, серия: Ядерно-реакторные константы, – 2014. вып. 3, С. 85–89.
3. САПФИР_95&RC_ВВЭР. Аттестационный паспорт программного средства № 388 от 16.12.2015. Выдан Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору.
4. Артёмов В.Г., Артёмова Л.М., Кузнецов А.Н., Михеев П.А. Программные средства для подготовки расчётных моделей и анализа полученных результатов расчётов потвэльного энерговыделения в комплексе программ САПФИР_95&RC_ВВЭР [Электронный ресурс] // Сб. трудов. 10-я международная научно-техническая конференция. «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», 16-19 мая 2017 года, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», Подольск, Россия. RL:http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/mntk2017/documents/mntk2017-092.pdf (дата обращения 20.10.2017).
5. TDMCC Аттестационный паспорт программного средства № 407 от 08.12.2016, выдан Ростехнадзором.
6. Zhitnik A.K., Ivanov N.V., Marshalkin V.E. et al., Code TDMCC for Monte Carlo computations of Spatial Reactor Core Kinetics. // Monte Carlo 2005 Topical Meeting, April 17-21, 2005.
7. V. Krýsl., P. Mikoláš., D. Sprinzl. and J. Švarný: 'Full-Core' VVER-440 Pin Power Distribution Calculation Benchmark. Proceedings of the 21st Symposium of AER, Dresden, Germany, 19-23 September, 2011
8. V. Krýsl, P. Mikoláš, D. Sprinzl, J. Švarný. 'FULL-CORE' VVER-440 benchmark extension. Proceedings of 24'th Symposium of AER, Sochi, Russian Federation, 14-19 October, 2014.
9. Временный международный коллектив для проведения совместных исследований по физике ВВЭР. Сборник трудов ВМК, том 1. Экспериментальные исследования по физике уран-водных решеток типа ВВЭР. ISBN 963 05 3967 5. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1984.

Теплофизические исследования

4.3 Научно-исследовательские разработки ОТФИ

Ю.А. Мигров

В течение 2017 года в отделе теплофизических исследований (ОТФИ) был выполнен значительный объём НИР по дальнейшему совершенствованию системного расчётного кода (РК) КОРСАР и сопровождению его эксплуатации в проектно-конструкторских организациях. В рамках развития CFD-модуля РК КОРСАР проводились следующие работы:

- разработана и программно реализована в составе CFD-модуля модель переноса растворенных компонентов жидкой фазой;
- совершенствовался алгоритм распараллеливания CFD-модуля;
- продолжались работы по верификации CFD-модуля на основе доступных экспериментальных данных.

По заказу АО «ОКБМ Африкантов» в 2017 году выполнен цикл расчётов по верификации объединённого программного комплекса КОРСАР/BR–КУПОЛ/МТ, обеспечивающего сопряженное моделирование внутриконтурных и контейнментных процессов в объектах ядерной энергетики.

В 2016 году были завершены работы по верификации кода КОРСАР/ГП на основе экспериментов, полученных на интегральном электрообогреваемом стенде ATLAS (институт KAERI, Южная Корея). В данном сборнике обобщенно представлены результаты этих работ в статье сотрудников ОТФИ Гудошникова А.Н. и Куртометовой О.В.

В соответствии с новой редакцией нормативного документа «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (НП-001-15), утвержденного Ростехнадзором 17.12.2015, ужесточаются требования к расчётному обоснованию безопасности АЭС. В п. 1.2.9 НП-001-15, в частности, зафиксировано требование оценки погрешности и неопределённостей расчётных результатов, а используемые при обосновании безопасности программные средства должны быть аттестованы. В свете указанных нормативных требований возникает необходимость совершенствования технологических подходов по верификации расчётных кодов с целью формирования их неопределённостей, оказывающих непосредственное влияние на погрешность расчёта параметров, важных для безопасности энергоблоков АЭС.

В статье Грицая А.С. и Мигрова Ю.А., представленной в сборнике, обсуждаются возможные пути решения этой задачи, опирающиеся на технологические принципы анализа неопределённостей и чувствительности.

Важнейшим направлением деятельности ОТФИ в 2017 году являлось продолжение работ по формированию базы верификационных данных, полученных в процессе испытаний стендовой ЯЭУ. Эти работы выполняются за счёт собственных средств института и будут полностью завершены в 2018 году. Заинтересованным пользователям будет предоставлена возможность использовать для верификации расчётных кодов несколько десятков оценённых экспериментов, а также необходимая для формирования расчётных моделей (исходных данных) документация в оцифрованном виде.

Экспериментальные работы в ОТФИ в 2017 году проводились в нескольких направлениях:

1. Осуществлялись проектирование и изготовление универсального стенда для моделирования пространственных процессов термогидродинамики, а также приобретение и освоение современной измерительной техники, включая комплексы ЛДИС и PIV.
2. По направлению модернизации и дооборудования основных средств института выполнен ряд работ по инфраструктуре стендового комплекса КМС.

Также в 2017 году продолжались работы по сопровождению комплекса технических средств автоматизированной системы АСУП (СМ-821), разработанной на нашем предприятии и эксплуатирующейся на ЛАЭС при переводе отработавшего топлива в режим сухого хранения в контейнерах УКХ-109.

4.4 Основные результаты исследований на интегральном теплогидравлическом стенде

А.Н. Гудошников, О.В. Куртометова

В последние годы сотрудниками ОТФИ проводились расчётные исследования процессов в серии экспериментов по управлению авариями и безопасности водо-водяных реакторов на интегральном теплогидравлическом стенде, проводимых в рамках международного проекта. Основные цели участия в проекте – получение экспериментальных данных для верификации расчётного кода КОРСАР/ГП и демонстрация на международном уровне способности РК КОРСАР/ГП моделировать теплогидравлические явления, возникающие в процессе имитации на стенде различных аварийных режимов.

Теплогидравлический стенд является крупномасштабной установкой (масштаб стенда по объёму – 1:288, по высотным отметкам основного оборудования – 1:2), предназначенной для исследования теплогидравлических явлений во время переходных режимов и аварий реактора APR1400.

В рамках проекта получены экспериментальные данные 8-ми аварийных режимов с моделированием множественных отказов оборудования в условиях полного длительного

обесточивания, которые пополнили базу данных для верификации расчётного кода КОРСАР/ГП. Полное продолжительное обесточивание АЭС является одной из вероятных запроектных аварий, которая привлекла к себе внимание после аварии на АЭС «Фукусима-1». Без каких-либо действий оператора во время данного переходного режима полная потеря отвода тепла вторым контуром приводит к оголению активной зоны, ее повреждению и, наконец, к расплавлению активной зоны под высоким давлением. Во время проведения экспериментов с обесточиванием также исследовались характеристики естественной циркуляции в первом контуре в условиях высокого давления. Так как проведение подобных испытаний на действующих энергетических установках невозможно из-за вероятности нарушения целостности оборудования, эксперименты, моделирующие переходные и аварийные режимы, на крупномасштабных стендах имеют огромное значение для обоснования безопасности.

Объём представленных экспериментальных данных описывает состояние как основных контуров, так и вспомогательных систем. В рамках проекта получены данные, важные для анализа безопасности и управления авариями на реакторах с водяным теплоносителем. Одной из основных задач расчётно-экспериментального исследования была оценка эффективности работы разных систем, направленной на восстановление охлаждения активной зоны, учитывая возможность отказа некоторых систем безопасности.

На первом этапе были выполнены два эксперимента (А1-1 и А1-2) по моделированию аварии с имитацией полного длительного обесточивания энергоблока, различающиеся лишь способом расхолаживания через второй контур – с задействованием системы вспомогательной питательной воды в первом варианте (А1-1) и использованием пассивной системы отвода тепла PAFS *(рисунок1)* во втором варианте (А1-2). Эксперименты первой серии проводились с целью исследования эффективности разных способов отвода тепла.

В *таблице 1* приведены параметры для сравнения, которые наглядно показали преимущества пассивной системы расхолаживания с точки зрения обеспечения безопасности.

Таблица 1

Сравнительные характеристики систем расхолаживания

Параметр	Эксперимент А1-1 ВПЭН (активная система)	Эксперимент А1-2 PAFS (пассивная система)
Потери теплоносителя 1 контура через предохранительный клапан КД	да	нет
Необходимость иметь запас воды для расхолаживания	да	нет
Разогрев имитаторов твэл вследствие ухудшенного теплообмена *(рисунок 2)*	да	нет
Необходимость иметь источник питания для системы расхолаживания	да	нет

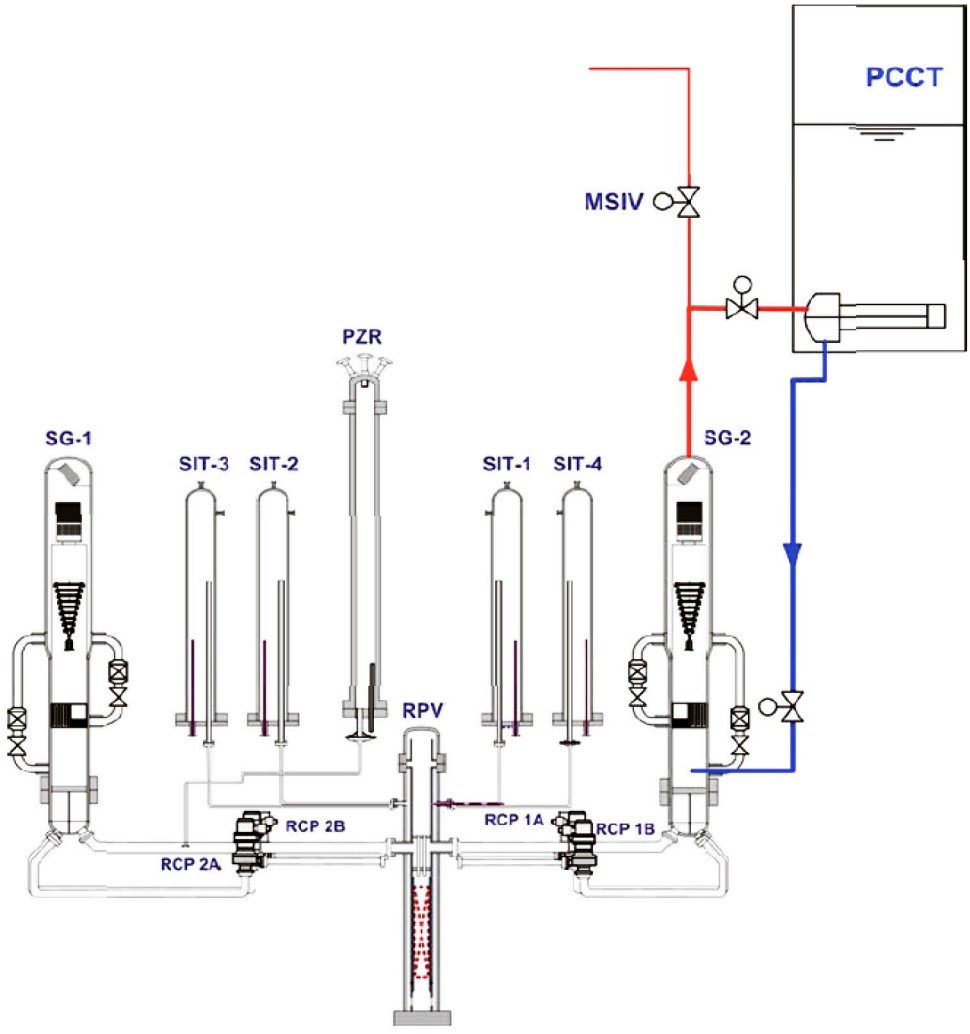
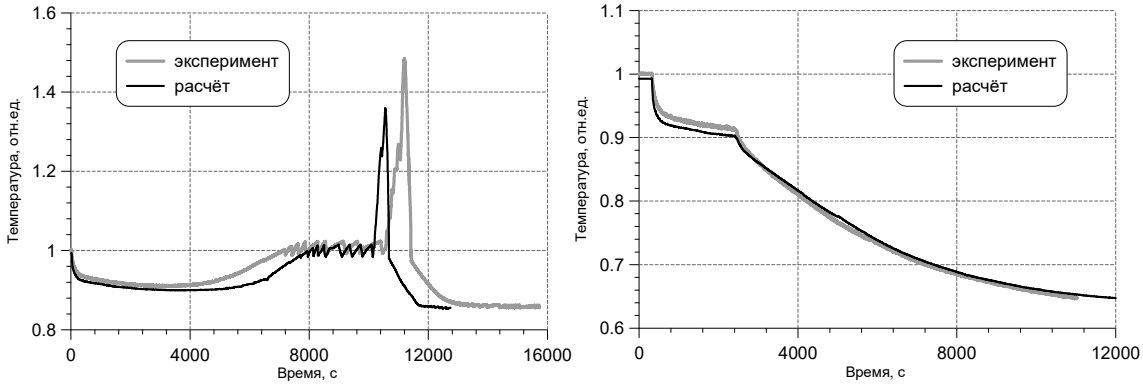


Рисунок 1 – Структурная схема интегрального теплогидравлического стенда с подключенной системой PAFS

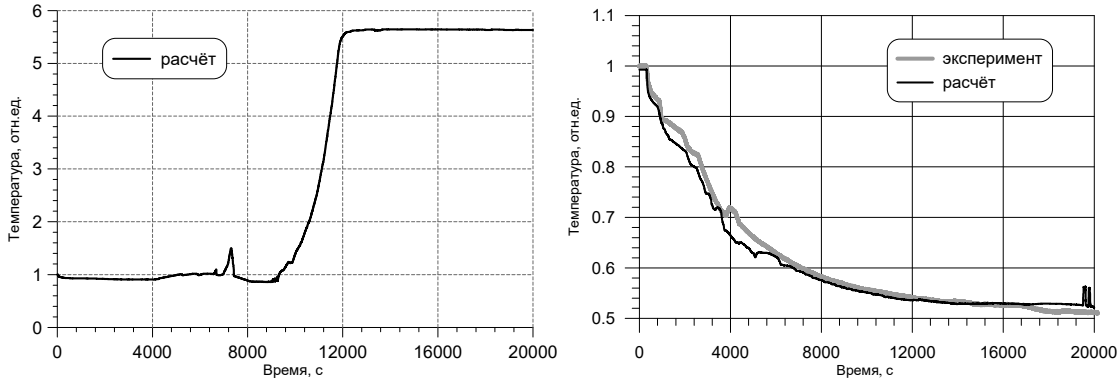


а) режим A1-1 *б) режим A1-2*

Рисунок 2 – Относительная температура имитаторов твэл

Эксперименты **второй серии** продолжают исследования аварийных процессов с наложением дополнительных аварийных событий. В качестве фактора, увеличивающего степень тяжести аварии, добавилась малая течь теплоносителя первого контура. В эксперименте А2-1 – это течь через уплотнители двух насосов, в эксперименте А2-2 – течь одной из трубок парогенератора. Для расхолаживания через второй контур для обоих режимов планировалось использовать систему вспомогательной питательной воды. Однако перед проведением экспериментов были выполнены претестовые расчёты, которые показали, что при реализации предложенного экспериментаторами сценария модель активной зоны разогревается выше температуры плавления *(рисунок 3а)*.

В итоге для исследования был предложен новый сценарий, который предусматривает изменение способа расхолаживания теплоносителя второго контура. Вместо подачи вспомогательной питательной воды в один из парогенераторов (по первоначальному сценарию) охлаждение производится с помощью пассивной системы PAFS *(рисунок 1)*. На *рисунке 3б)* представлено сравнение расчётной относительной температуры имитаторов твэл с экспериментальной, полученной при реализации нового сценария аварийного режима на стенде. Пассивная система отвода тепла второго контура PAFS во второй серии расчётно-экспериментальных исследований оказалась предпочтительней системы вспомогательной питательной воды. Как и в первой серии экспериментов, работа системы PAFS позволила обеспечить надёжный теплоотвод от модели активной зоны.



а) предварительный сценарий *б) новый сценарий*

Рисунок 3 – Относительная температура имитаторов твэл в режиме А2-1

Расчётный анализ режима А2-2 с течью трубки парогенератора показал, что работы системы вспомогательной воды достаточно для надёжного отвода остаточных энерговыделений от модели активной зоны, что позже подтвердилось экспериментальными данными *(рисунок 4)*.

В **третью серию** вошёл эксперимент А3-1 с полной потерей питательной воды. Данный режим интересен тем, что очень быстро происходит опустошение парогенераторов, лишая их функции отвода тепла от модели активной зоны. Повышение давления в первом контуре приводит к началу потери теплоносителя через предохранительный клапан компенсатора давления (КД).

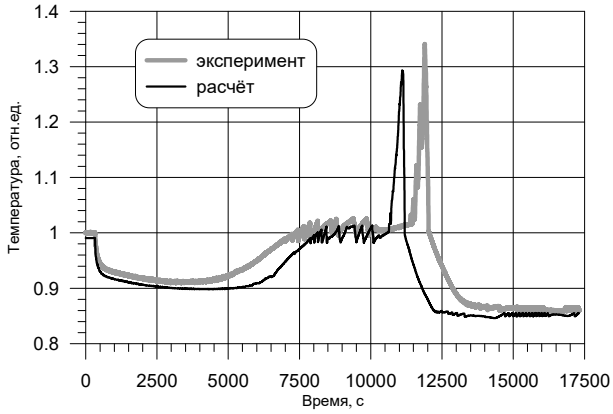


Рисунок 4 – Относительная температура имитаторов твэл в режиме А2-2

Без аварийной подпитки первого контура модель активной зоны оголится, что приведёт к неконтролируемому разогреву имитаторов твэл. Однако, аварийный впрыск невозможен при таких больших значениях давления в первом контуре, которые обеспечивает работа предохранительного клапана. Для снижения давления первого контура до уровня включения насоса аварийной подпитки предохранительный клапан КД принудительно открывают на 50 %. Клапан работает в режиме продувки первого контура, снижая давление до значения, при котором становится возможным запустить насосы аварийной подпитки. Эффективность описанной процедуры продемонстрирована *на рисунке 5*.

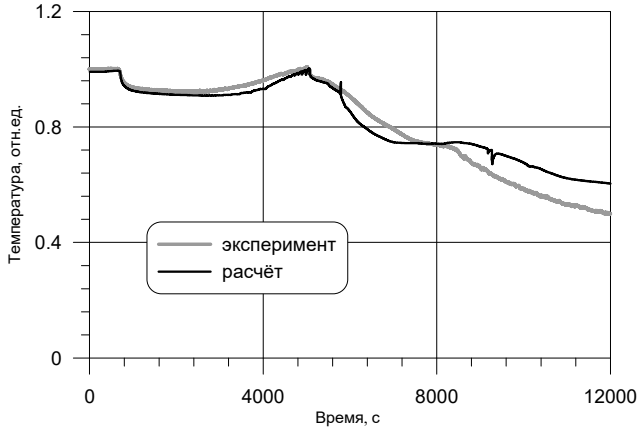


Рисунок 5 – Относительная температура имитаторов твэл в режиме А3-1

Режим А5-1 открывает серию экспериментов с использованием активных систем безопасности – систем впрыска высокого и низкого давления. Сценарий эксперимента А5-1 максимально приближен к экспериментальному режиму «Течь 1% из холодной нитки», проведённому на японском стенде LSTF. В эксперименте моделируется отказ системы САОЗ высокого давления. Для снижения давления в первом контуре до уставок срабатывания систем безопасности (гидроёмкости САОЗ, впрыск САОЗ низкого давления) по сценарию запускается программа аварийного управления, предусматривающая регулировку сброса пара из парогенераторов, которая обеспечивает заданную скорость расхолаживания теплоносителя первого контура. Предпринятые действия позволили обеспечить эффективный от-

вод тепла от модели активной зоны, что продемонстрировано *на рисунке 6.*

По режиму А5-1 была объявлена стандартная проблема безопасности (СПБ), которая координировалась университетом NINE (г. Пиза, Италия). Среди 14 участников бенчмарка из разных стран результаты претеста и постеста, выполненные с помощью РК КОРСАР/ГП *(рисунок 6)*, вошли в тройку лучших.

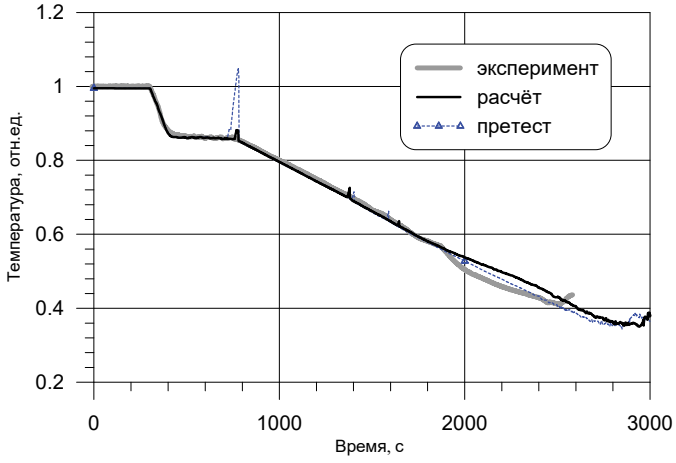
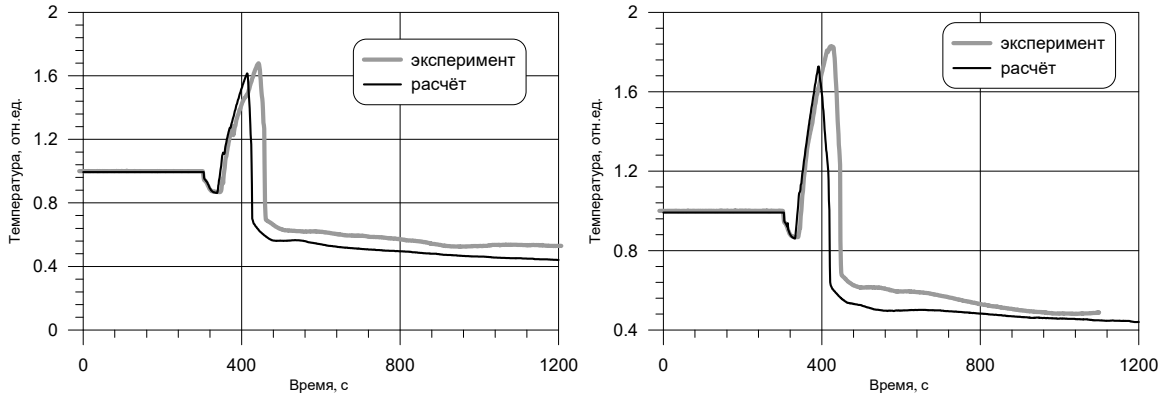


Рисунок 6 – Относительная температура имитаторов твэл в режиме А5-1

Эксперименты **пятой серии** выполнены по одному сценарию и относятся к классу средних течей. Различие двух режимов состояло в размере течи (13 % для А5-2 и 17 % для А4-1), а также в дополнительном единичном отказе в работе систем впрыска высокого и низкого давления для режима А4-1. Следует отметить, что все участники международного проекта «ATLAS» приняли участие в разработке сценария эксперимента А5-2.

В обоих режимах наблюдается кратковременный рост температуры имитаторов твэл, не превышающий допустимых значений. Анализ расчётных и экспериментальных данных показал, что модель активной зоны в режиме А4-1 попадает в более жёсткие условия по отводу остаточных тепловыделений по сравнению с режимом А5-2, однако оставшиеся в работе системы безопасности обеспечивают надёжный теплоотвод от модели активной зоны.



а) режим А5-2 *б) режим А4-1*

Рисунок 7 – Относительная температура имитаторов твэл

Заключение

1. Полученные в рамках международного проекта экспериментальные данные позволили существенно дополнить базу верификационных данных кода КОРСАР/ГП по интегральным экспериментам.
2. Хорошее совпадение результатов расчётов с экспериментальными данными, особенно для претестовых расчетов, когда результаты экспериментов неизвестны исполнителю, показывает, что код КОРСАР/ГП адекватно воспроизводит моделируемые на интегральном теплогидравлическом стенде процессы.
3. Результаты настоящей работы могут использоваться для демонстрации возможностей РК КОРСАР/ГП с целью повышения конкурентоспособности российских технологий.

4.5 Оценка неопределённости замыкающих соотношений теплогидравлических расчётных кодов

А.С. Грицай, Ю.А. Мигров

Введение

В современной мировой и отечественной инженерной практике при выполнении расчётов, связанных с обоснованием безопасности объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), все большее внимание уделяется оценке неопределённости результатов расчётного анализа. Например, в отечественных нормативных документах подобное требование содержится в [1].

Необходимость оценки неопределённости связана, в частности, с тем, что используемые при анализе безопасности РУ теплогидравлические расчётные коды (РК), в том числе улучшенной оценки (Best Estimate), такие как RELAP5 (США), ATHLET (Германия), CATHARE (Франция), КОРСАР (Россия) [2], в своих моделях используют большое количество полуэмпирических соотношений [3, 4]. Эти соотношения предназначены для описания локальных физических процессов и необходимы для замыкания базовой системы дифференциальных уравнений. В связи с тем, что при разработке подобных замыкающих соотношений (ЗС) используются методические упрощения и допущения, а также эмпирические константы, полученные при обобщении экспериментальных данных, ЗС являются источником погрешности (неопределённости) расчёта и обусловливают модельную неопределённость кода.

К настоящему времени апробирован широкий спектр методов анализа неопределённости и чувствительности (АНЧ) результатов расчётов, выполняемых с использованием РК [5], среди которых наибольшее распространение получил метод GRS [6]. Данный метод основан на проведении многовариантных расчётов с варьированием параметров модели в их диапазонах неопределённости и последующей статистической обработке совокупности результатов. Число вариантных расчётов определяется соотношением Уилкса [7], а модельные неопределённости рассматриваются как непрерывные случайные величины, с некото-

рым законом распределения в заданном диапазоне. Решение о включении в руководящие документы Гостехнадзора РФ требования (или рекомендации) о применении указанного метода при проведении анализов безопасности РУ находится в стадии обсуждения [8].

Важным этапом метода GRS, напрямую влияющим на результаты анализа безопасности ОИАЭ (ширину интервалов возможного изменения расчётных значений параметров, важных для безопасности), является обоснование количественных характеристик входных (модельных) параметров – диапазонов их неопределённости и законов распределения в указанных диапазонах.

В этой связи необходимо отметить, что в настоящее время отсутствует в необходимой мере отработанный и универсальный метод, позволяющий на основе объективных критериев обосновывать (оценивать) статистические характеристики неопределённостей модельных параметров РК. Существующие аналитические подходы [9], не всегда пригодны для задач теплогидравлики, либо предлагаются для частных задач [10], а наиболее распространенный экспертный способ сопряжен с неизбежным субъективизмом оценок, что снижает доверие к результатам расчётов методом GRS.

В этой связи возникает актуальная задача по разработке методики, позволяющей обосновывать неопределённости модельных параметров расчётных кодов на основе статистических критериев.

Вариант подобного метода, разработанный в ОТФИ, предлагается в настоящей работе. Метод реализован применительно к ЗС РК КОРСАР, однако может быть использован и для других кодов.

Технология обеспечения доступа к модельным параметрам кода

Важной задачей при учёте модельных неопределённостей является обеспечение программного доступа к соответствующим ЗС расчётного кода.

В РК КОРСАР данная задача решена следующим образом. В программную часть кода, содержащую ЗС блока контурной теплогидравлики, введен вещественный массив AOUAS$. Каждый элемент указанного массива является множителем к ЗС (либо системе ЗС), используемому для расчёта конкретного параметра. Исходно все элементы массива инициализируются единицами. При необходимости имеется возможность из внешнего файла входных данных задавать отличные от единицы значения элементов массива, влияя таким образом на расчёт соответствующего параметра с использованием того или иного ЗС. Описанный способ не требует перетрансляции кода при выполнении многовариантных расчётов, что технически существенно упрощает процедуру выполнения АНЧ.

Всего в РК КОРСАР имеется возможность варьирования 34 параметров, перечень которых с соответствующими им номерами элементов массива AOUAS$ приведен в *таблице 1*.

На первом этапе – апробирования и накопления опыта при использовании РК КОРСАР в расчётах с АНЧ диапазоны варьирования указанных в таблице модельных параметров устанавливались на основе экспертной оценки в пределах ±15 % исходя из общих представлений об уровне погрешности эмпирических соотношений, используемых в моделях теплогидравлики.

Таблица 1

Варьируемые параметры контурной теплогидравлики РК КОРСАР

Номер параметра в AOUAS$	Наименование параметра
	Коэффициент 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
	Коэффициент трения о стенку:
6	– воды в пузырьковом и снарядном режимах
7	– воды в дисперсном режиме
8	– воды о стенку в дисперсно-кольцевом режиме
9	– воды в режиме расслоенного течения
10	– пара в режиме расслоенного течения
11	– пара в обращенном кольцевом режиме
	Коэффициент межфазного теплообмена:
12	– воды в пузырьковом режиме (Tf < Ts)
13	– воды в снарядном режиме (Tf < Ts)
14	– воды в дисперсно-кольцевом режиме (Tf < Ts)
15	– воды в режиме расслоенного течения (Tf < Ts)
	Коэффициент межфазного теплообмена:
16	– воды в обращенном кольцевом режиме
17	– воды при Tf < Ts
18	– пара в дисперсно-кольцевом режиме (Tg > Ts)
19	– пара в режиме расслоенного течения (Tg > Ts)
20	– пара в обращенном кольцевом режиме
21	– пара в дисперсном режиме (Tg > Ts)
	Коэффициенты теплообмена со стенкой:
22	– воды в режиме докризисного кипения
23	Доля теплового потока от стенки, идущая на генерацию пара в режиме докризисного кипения
	Коэффициенты теплообмена со стенкой:
24	– воды в режиме конвективного теплообмена
25	– воды в режиме пленочной конденсации
26	– воды в дисперсном режиме
27	Добавка к коэффициенту теплообмена жидкой фазы (усиление теплообмена) при повторном заливе вблизи фронта смачивания
	Коэффициенты теплообмена со стенкой:
28	– пара в обращенном кольцевом режиме
29	– пара 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 (для круглых труб)

Описание, демонстрация и результаты применения способа

Описание способа

Реальная возможность объективной оценки неопределённости заложенных в РК ЗС заключается в сопоставлении результатов расчётов, полученных с применением того или иного ЗС, с соответствующими статистически значимыми экспериментальными результатами. В соответствии с этим, предлагаемый способ основан на применении технологии верификации в совокупности с законами математической статистики и содержит три последовательных этапа:

1. Выбор экспериментов. Критерии выбора: статистическая значимость результатов, локальный характер экспериментов (одно-два исследуемых явления в одном эксперименте), подробное описание, воспроизводимость эксперимента кодом на качественном уровне. Также желателен широкий охват 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 выбранного эксперимента к неопределённости ЗС. Важность данного этапа обусловлена необходимостью объективного установления доминантных ЗС в условиях их комплексной «работы» в составе кода, а также потребностью обосновать правомерность переноса последующей статистической обработки расчётно-экспериментальных данных на выявленные ключевые ЗС (результатов этапа 3).

3. Обоснование неопределённостей доминантных ЗС.

Для случая одного значимого ЗС выполняется серия расчётов с пошаговым изменением диапазона неопределённости доминантного ЗС (связанного с ним элемента AOUAS$), начиная от базового значения, равного 1. На каждом шаге определяется количество экспериментальных точек, попадающих в диапазон, определённый расчётом. По результатам строится гистограмма распределения экспериментальных результатов. Далее указанная гистограмма обрабатывается вероятностными методами, в результате чего устанавливается диапазон неопределённости ЗС (диапазон неопределённости расчёта соответствующего модельного параметра), устанавливаемый по критерию попадания в него не менее 95 % экспериментальных точек, а также закон распределения в указанном диапазоне.

Ситуацию с двумя независимыми значимыми ЗС можно рассматривать как вариант, в котором каждой паре возможных значений случайных величин X1 и X2 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 (X1 и X2) даёт единственное значение рассчитываемого параметра Y, количественно зависящее, при прочих равных условиях, только от значений X1 и X2. В этом случае математическая статистика определяет Y как функцию двух случайных аргументов: $Y = f(X1, X2)$ [11]. Если исходить из принципа аддитивного влияния неопределённости (погрешности) X1 и X2 на неопределенность расчёта параметра Y, то плотность распределения Y будет являться композицией X1 и X2. Известно, что если X1 и X2 являются независимыми случайными величинами с нормальным законом распределения, то их композиция также распределена нормально, причем, математическое ожидание (MO) и дисперсия (D)

композиции равна сумме MO и D слагаемых [11]. 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 неопределённости 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 погрешности и ее перенос на определяемые характеристики искомого ЗС.

Далее представлены примеры применения описанной методики.

Случай одного значимого модельного параметра

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 [12] и Орегоне [13]. 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 [12, 13] представлены на *рисунке 1* и демонстрируют хорошее воспроизведение кодом экспериментальных данных.

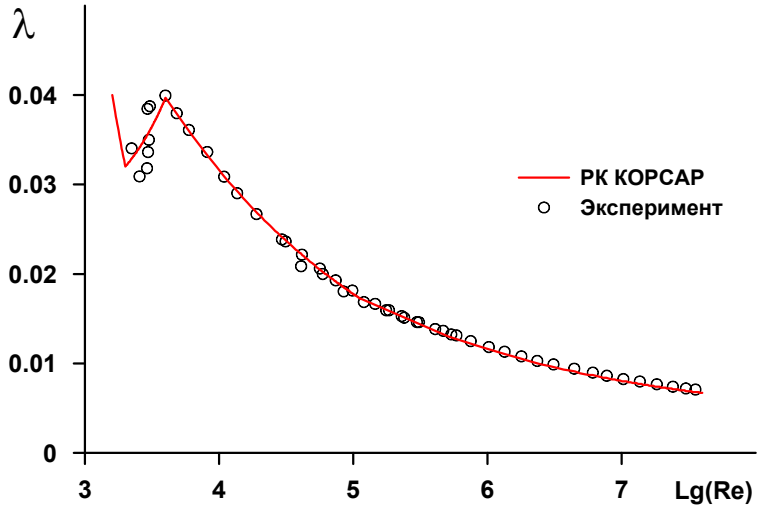


Рисунок 1 – Сравнение расчётных (РК КОРСАР) и экспериментальных ([12, 13]) данных

Установление доминантных ЗС, оказывающих наибольшее влияние на результаты расчёта, осуществлялось с помощью анализа чувствительности результатов расчёта к неопределённости ЗС РК КОРСАР. При этом варьировались все 34 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 рассчитываемый.

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 34 анализируемых ЗС доминантным является 6-е *(таблица 1)*. Следовательно, можно выполнить обоснование неопределённости указанного ЗС, не опасаясь влияния прочих соотношений.

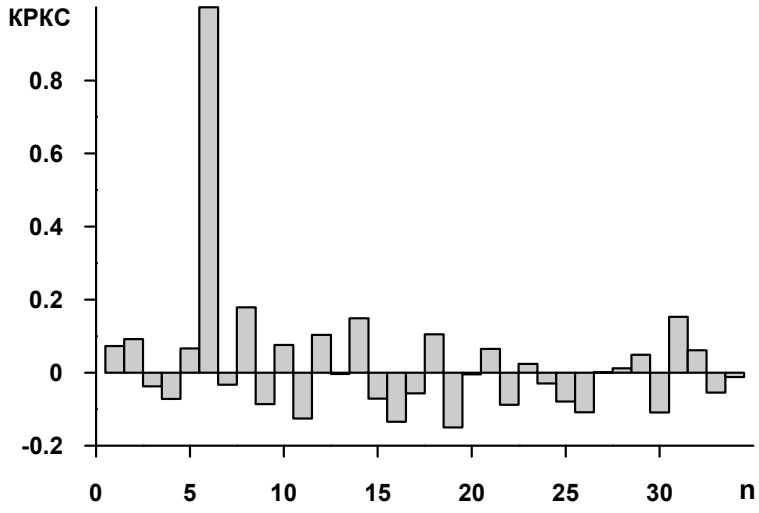


Рисунок 2 – Результаты анализа чувствительности (одно значимое ЗС)

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$(6) = 0,96÷0,98; 0,98÷1,0; 1,0÷1,02; 1,02÷1,04 и т.д.). На каждом шаге определялось количество экспериментальных точек, охватываемых полученным расчётным диапазоном. Сформированная таким образом выборка, плотность распределения p(x) которой в виде гистограммы представлена на *рисунке 3*, обрабатывалась методами математической статистики. В результате для AOUAS$(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 неопределённости устанавливался на основе правила «двух сигм» и составил 0,953÷1,073.

В РК КОРСАР для описания дисперсно-кольцевого режима используется модель раздельного трения фаз [4], 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.

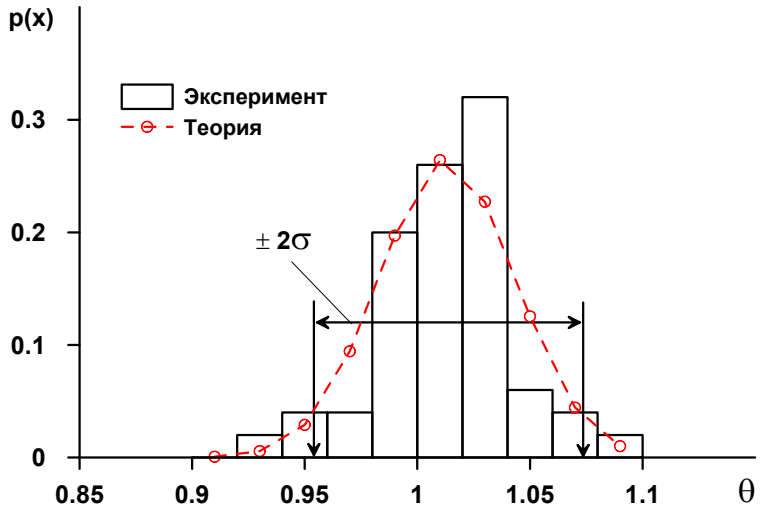


Рисунок 3 – Результаты обработки сформированной выборки (случай одного значимого ЗС)

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

Случай двух значимых модельных параметров

Подобная ситуация возникает при использовании в рамках рассматриваемого метода экспериментов по изучению пароводяных потоков, выполненных в ФЭИ [14, 15]. 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 34-х варьируемых параметров *на рисунке 5*, позволили установить, что количественно результаты расчёта данного режима в решающей степени определяются следующими параметрами *(таблица 1)*:

- коэффициентом межфазного трения в дисперсно-кольцевом режиме (ЗС № 2);
- коэффициентом трения жидкой фазы о стенку в дисперсно-кольцевом режиме (ЗС № 8).

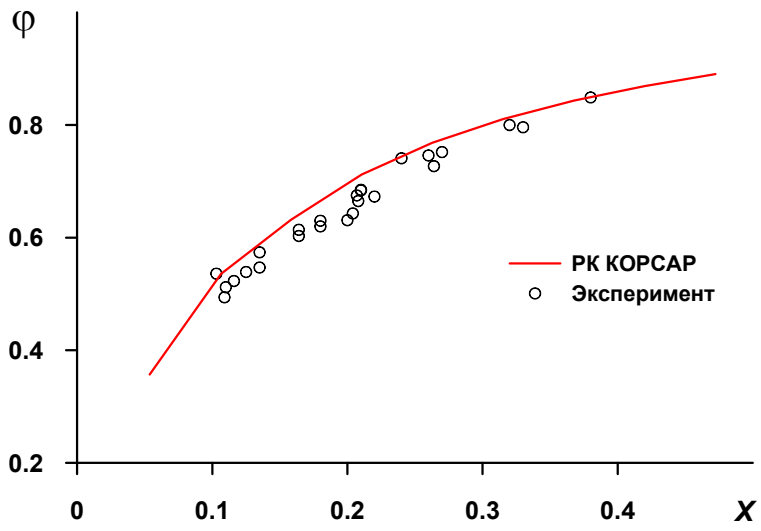


Рисунок 4 – Сравнение результатов расчётов по РК КОРСАР с данными [15]

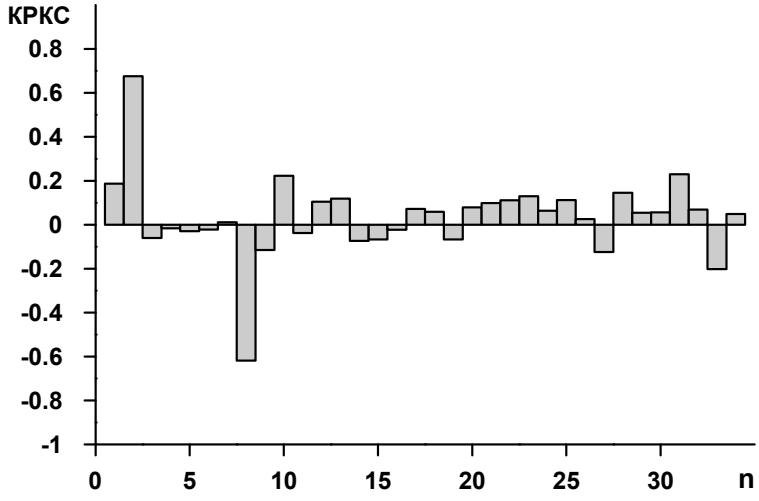


Рисунок 5 – Результаты анализа чувствительности расчёта φ для режимных параметров: p = 9,8 МПа; ρw = 1000 кг/(с·м²); x = 0,25.

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, поскольку для них значения КРКС, как следует из *рисунка 5*, ниже порога значимости, соответствующего значению |0,3|. Данный результат является физически непротиворечивым. Так, например, влияние межфазного тепломассообмена незначительно, поскольку температура пароводяного потока в рассматриваемых экспериментах соответствует температуре насыщения. Влияния же теплового потока на зависимость φ(x), как отмечают авторы [15], обнаружено не было.

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 неопределённости 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.

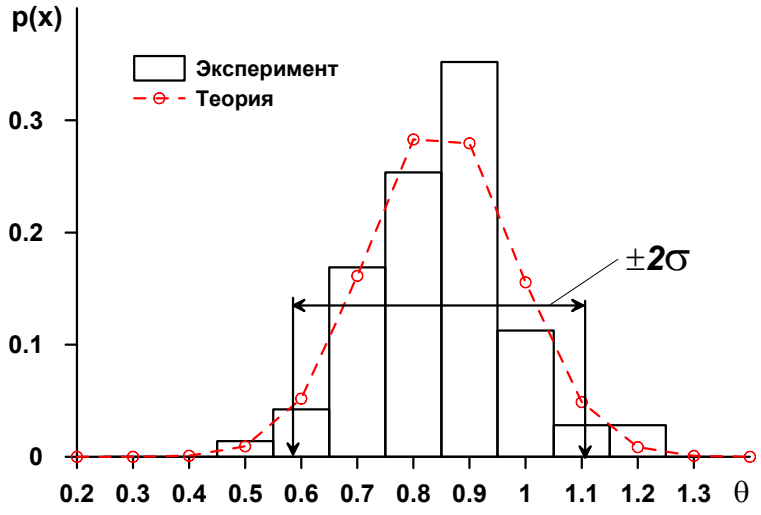


Рисунок 6 – Результаты обоснования статистических характеристик композиции

Результаты оценки неопределённости некоторых ЗС РК КОРСАР

Описанный метод был применён для обоснования статистических характеристик ряда модельных параметров РК КОРСАР. Результаты обоснования представлены в *таблице 2* Полученные результаты рекомендуются к использованию при выполнении анализа неопределённостей с помощью РК КОРСАР методом GRS.

Таблица 2

Статистические характеристики некоторых модельных неопределённостей РК КОРСАР

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

Влияние характеристик неопределённостей на получаемые результаты при использовании метода GRS

Для демонстрации целесообразности перехода в рамках метода GRS от экспертной оценки статистических характеристик модельных неопределённостей к способам, основанным на привлечении объективных критериев, был выполнен наглядный тест. Методом GRS проведено два расчёта одного из локальных экспериментов по исследованию закризисного теплообмена в круглой трубе [16]. Предварительно было установлено, что в РК КОРСАР при расчёте данных экспериментов значимыми являются ЗС № 29 и ЗС № 34 *(таблица 1)*. В первом расчёте неопределенность данных ЗС принималась исходя из ранее выполненной экспертной оценки (±15 %), а во втором – на основе предложенного подхода *(таблица 2)*. Трубки неопределённости результатов расчёта температуры стенки, полученные в указанных расчётах, а также экспериментальные данные представлены на *рисунке 7*.

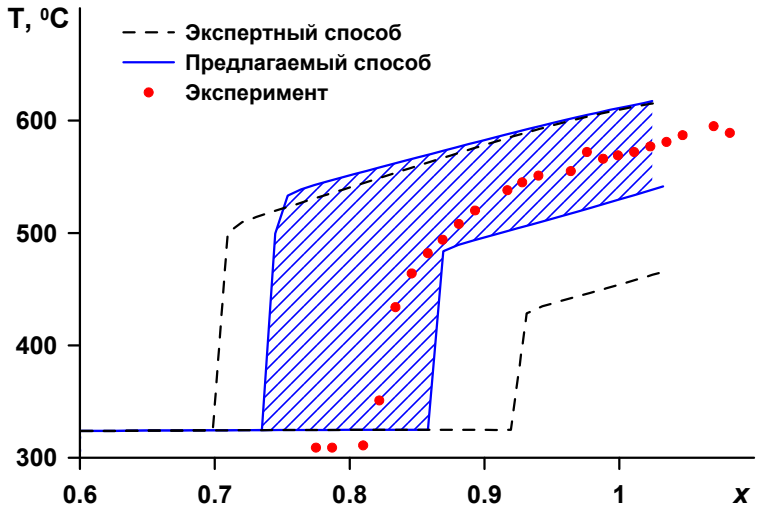


Рисунок 7 – Результаты расчётов методом GRS при разных способах оценки исходных неопределённостей

Из *рисунка 7* видно, что интервальные результаты расчёта анализируемого параметра (температуры стенки) получены заметно разные. Использование предлагаемого в настоящей работе способа позволило избежать излишнего консерватизма расчёта перехода к ухудшенному теплообмену и повысить реалистичность интервального расчёта температуры стенки в закризисной области.

Заключение

1. Предложен способ обоснования статистических характеристик модельных неопределённостей теплогидравлических расчётных кодов. Способ основан на применении законов математической статистики и позволяет выполнять процедуру обоснования, опираясь на объективные критерии.
2. С применением способа обоснована неопределенность ряда модельных параметров РК КОРСАР. Полученные результаты рекомендуются к использованию в расчётах с применением РК КОРСАР в рамках метода GRS.
3. Применение предлагаемого способа позволяет повысить объективность получаемых результатов при выполнении анализа неопределённостей теплогидравлических расчётов методом GRS.

Список литературы

1. Общие положения обеспечения безопасности атомных электростанций: НП-001-15: утверждены Ростехнадзором 17 декабря 2015 г., введ. с 16 февраля 2016 г. - М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2016.
2. *Василенко В.А., Мигров Ю.А., Волкова С.Н., Юдов Ю.В., Данилов И.Г., Коротаев В.Г., Кутьин В.В., Бондарчик Б.Р., Бенедиктов Д.В.* Опыт создания и основные характеристики теплогидравлического расчётного кода нового поколения КОРСАР // Теплоэнергетика. 2002. №11. С. 11-16.
3. Кузнецов Ю.Н. Теплообмен в проблеме безопасности ядерных реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. *Юдов Ю.В., Волкова С.Н., Мигров Ю.А.* Замыкающие соотношения теплогидравлической модели расчётного кода КОРСАР // Теплоэнергетика. 2002. №11. С. 22-29.
5. Best estimate safety analysis for nuclear power plants: uncertainty evaluation [Text]: Safety reports series. International Atomic Energy Agency. Vienna. 2008. ISSN 1020-6450. No. 52.
6. *Glaeser H.* GRS Method for Uncertainty and Sensitivity Evaluation of Code Results and Applications // Science and Technology of Nuclear Installations. 2008. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://dx.doi.org/10.1155/2008/798901
7. *Wilks, S.S.* Determination of sample sizes for setting tolerance limits [Text] / S.S. Wilks / The Annals of Mathematical Statistics. 1941. Vol. 12. P. 91–96.
8. *Богдан С.Н., Ковалевич О.М., Козлова Н.А., Шевченко С.А., Яшников Д.А.* Об оценке погрешностей расчётов, выполняемых при обосновании безопасности объектов использования атомной энергии // Ядерная и радиационная безопасность. 2017. №2. С. 38-53.
9. *Румянцев А.Н.* Метод квантильных оценок неопределённостей // Атомная энергия. 2007. Т.102. Вып. 4. С. 208-216.
10. *Яшников Д.А.* Разработка и применение методики анализа неопределённости теплогидравлических расчётов аварийных режимов реакторов РБМК: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.14.03. Москва: ОАО «НИКИЭТ», 2013.

11. *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 2003.
12. *Swanson C.J., Julian B., Ihas G.G., Donnelly R.J.* Pipe flow measurements over a wide range of Reynolds number using liquid helium and various gases // J. Fluid Mech. 2002. Vol. 461. P. 51-60.
13. *McKeon B.J., Swanson C.J., Zaragola M.V., Donnelly R.J. Smith A.J.* Friction factors for smooth pipe flow // J. Fluid Mech. 2004. Vol. 511. P. 41-44.
14. *Кириллов П.Л., Комаров Н.М., Субботин В.И., Смогалев И.П., Суворов М.Я., Штейн Ю.Ю., Шумский Р.В., Шиловский Ю.Д.* Измерение некоторых характеристик парожидкостного потока в круглой трубе при давлении 68.6 бар: препринт ФЭИ №ФЭИ-421. Обнинск: ФЭИ, 1973. - 104 с.
15. *Кириллов П.Л., Комаров Н.М., Суворов М.Я., Смогалев И.П., Штейн Ю.Ю., Шумский Р.В.* Результаты комплексных экспериментов по изучению гидродинамических характеристик дисперсно-кольцевого пароводяного потока высокого давления в трубе: препринт ФЭИ №ФЭИ-1447. Обнинск: ФЭИ, 1983. - 21 с.
16. *Ремизов О.В., Воробьев В.А., Сергеев В.В.* Теплообмен в закризисной области: Аналитический обзор ОБ – 24. г. Обнинск: ФЭИ, 1976.

5. ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И РАДИОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

5. ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И РАДИОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В 2017 году отделом химико-технологических исследований (ОХТИ) выполнены следующие основные работы.

На стенде-прототипе ЯЭУ транспортного назначения в соответствии с МЦП «Энергетика-2025» были запланированы и выполнены в 2017 году мероприятия по подготовке и проведению очередных циклов ресурсных испытаний кампании. В соответствии с нормативной документацией обеспечен контроль герметичности оболочек (КГО) твэлов на основе анализа данных радиохимических измерений радионуклидного состава теплоносителя. Отслеживалась динамика изменения газового состава внутренних полостей исполнительных механизмов активной зоны (ИМ АЗ) стенда для оценки влияния газов на коррозионное состояние внутренних полостей электродвигателей и ресурсные характеристики ИМ АЗ. Проводился систематический оперативный и исследовательский контроль параметров водно-химического и газового режима (ВХГР) первого и третьего контуров для анализа состояния оборудования в периоды ресурсных испытаний и межцикловых ремонтов и модернизации.

Особое внимание уделялось исследованию газового режима третьего контура в части динамики накопления радиолитического водорода для поддержания его концентрации на безопасных для эксплуатации ЯЭУ уровнях. По второму контуру проводились ресурсные испытания системы автоматизированного контроля физико-химических параметров теплоносителя (КАИССА).

В 2017 году в натурных условиях стенда-прототипа транспортной ЯЭУ были завершены исследования ресурсных характеристик ионитов отечественного производства, получены данные о массопереносе органических примесей и продуктов их радиационно-термической деструкции в системах стенда.

С целью оптимизации технологии удаления продуктов коррозии из контуров стенда были продолжены работы по проведению коррозионного мониторинга основного и вспомогательного оборудования ЯЭУ в периоды испытаний и межкикловых ремонтов.

В соответствии с Регламентом и Программой ведения объектного мониторинга состояния недр во ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» проводился радиационный контроль сбросов и выбросов, формирующихся в процессе испытаний стендов, и радиационный контроль грунтовых вод в районе зданий стендов.

Сотрудники ОХТИ принимали также участие в выполнении следующих работ:

- курирование монтажа модернизированной системы газового контроля на крупномасштабном контейнментном стенде КМС;
- проведение авторского сопровождения эксплуатации комплекса технических средств верхнего уровня и блоков управления модернизированной системы радиационного контроля;
- проведение приёмочных испытаний опытного образца АППО;
- комплексные испытания автоматизированной системы радиационного контроля на третьем энергоблоке Тяньваньской АЭС;
- изготовление, настройка и наладка радиометров-спектрометров, обнаружителей ВВ в системах КРАТОС и ЧУБ и других приборов для передачи Заказчикам.

Основные результаты исследований по стендовой тематике

Оценка состояния активной зоны транспортной ЯЭУ

Основная задача испытаний активной зоны транспортной ЯЭУ состояла в экспериментальном определении ресурсных показателей элементной базы.

Оценка состояния активной зоны выполнялась на основании результатов радиохимического контроля проб теплоносителя, отобранных при проведении «тестовых» режимов работы реактора, согласно требованиям «Руководства...». Зависимость суммарных удельных активностей радионуклидов йода в пробах теплоносителя первого контура, отобранных при проведении тестовых режимов в 2017 году до фильтров БОиР и определённых на два часа после отбора, от величины энерговыработки активной зоны (в процентах от проектной, $\%W_{П}$) представлена *на рисунке 1*. Для наглядности, на рисунке также представлена граница перехода активной зоны из «нормального» в «допустимое» состояние (согласно РТК-04, переход происходит при величине контролируемого показателя выше $2{,}7 \cdot 10^{-4}$ Ки/кг).

Из данных, представленных *на рисунке 1*, видно, что значение основного контролируемого показателя – суммарной удельной активности радионуклидов йода в пробах теплоносителя первого контура через два часа после их отбора – в 2017 году не превышало $1{,}4 \cdot 10^{-4}$ Ки/кг, что в два раза ниже критерия перехода активной зоны в «допустимое» состояние.

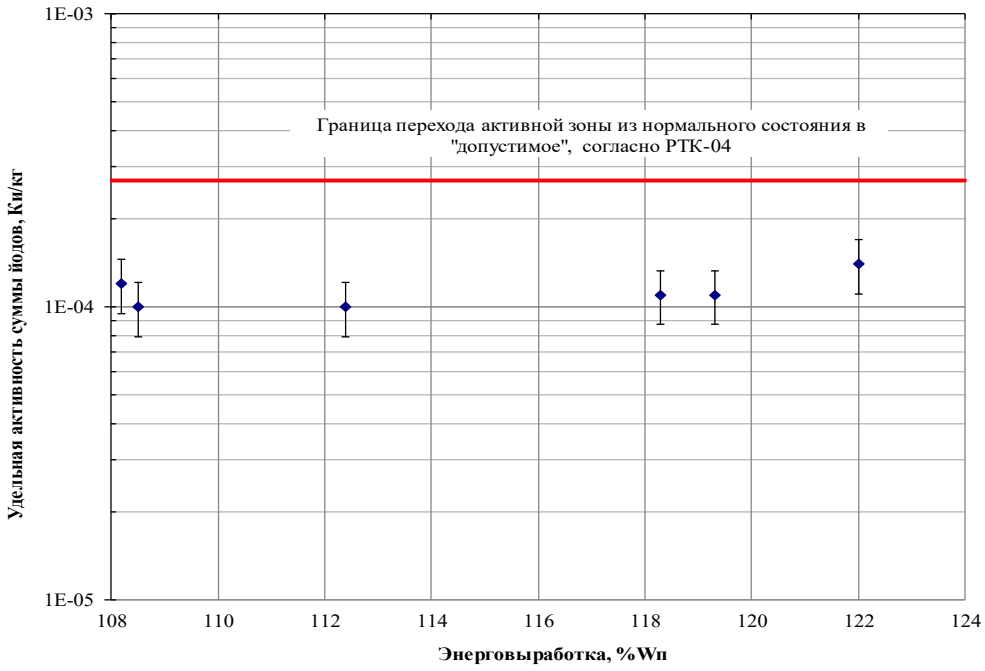


Рисунок 1– Изменение суммарной объёмной активности йода в теплоносителе первого контура в течение 2017 года

Величина дополнительного контролируемого показателя (суммарная объёмная активность альфа-излучающих радионуклидов в пробах теплоносителя) в рассматриваемый период времени не превышала $2{,}9 \cdot 10^{-10}$ Ки/кг, что значительно ниже приведённого в «Руководстве...» критерия перехода в «недопустимое» состояние ($1{,}35 \cdot 10^{-8}$ Ки/кг).

Суммарная удельная активность бета-излучающих радионуклидов в отобранных пробах теплоносителя первого контура определялась, в основном, активностью продуктов деления и не превышала $2{,}8 \cdot 10^{-4}$ Ки/кг.

Результаты радиохимического контроля на работающем реакторе, полученные в 2017 году, свидетельствуют, что активная зона стенда в 2017 году находилась в «нормальном» состоянии.

В соответствии с «Программой...», в 2017 году на стенде реализованы специальные режимы КГО твэлов на остановленном реакторе. В ходе режима выполнялись следующие операции:

- снижение в теплоносителе активности долгоживущих радионуклидов йода до минимально возможного уровня путём их вывода на фильтрах БОиР-1, 2 при работе ЦНПК-2 и периодическом включении ЦНР-1, 2;
- отбор проб теплоносителя после отключения фильтров очистки для определения удельной активности долгоживущих продуктов деления в первом контуре.

В процессе выполнения режимов КГО было достоверно идентифицировано дополнительное поступление радионуклида ^{131}I в теплоноситель первого контура стенда ЯЭУ после останова реактора. Установлено, что площадь открытой поверхности топливной композиции, по сравнению с предшествующими циклами испытаний стендов в предыдущей кампании, сохранилась на прежнем уровне.

Результаты исследования газового состава внутренних полостей исполнительных механизмов активной зоны (ИМ АЗ)

В период межциклового ремонта после остановки реактора при температуре газовой среды не выше 50 °С из полостей приводов ИМ АЗ отбирались пробы газа. В отбираемых пробах определялось содержание гелия, водорода, кислорода, азота, оксидов углерода, аммиака и предельных углеводородов. Содержание аммиака определялось после растворения газовой пробы в воде. Содержание гелия и предельных углеводородов $C_2 – C_5$ не превышало 0,01 % об. По сравнению с предыдущей кампанией характер изменения содержания основных газообразных компонентов практически не изменился. Концентрация кислорода во всех группах не превышает 0,2 % об. Концентрация водорода, оксида углерода, метана и аммиака возрастала, а концентрация диоксида углерода снижалась. Уменьшение концентрации диоксида углерода свидетельствует о его избирательном связывании конструкционными материалами из газовой фазы.

Оценка состояния водно-химического режима основных технологических контуров

В 2017 году **водно-химический режим первого контура** корректировался неоднократно, в качестве добавки в теплоноситель вводился только гидразин-гидрат перед подпиткой реактора водой высокой чистоты в стояночных режимах для снижения концентрации растворенного кислорода.

В период 2017 года величина водородного показателя теплоносителя находилась в диапазоне 10,08÷10,48 ед.pH, концентрация аммиака в диапазоне 13,6÷65,6 мг/кг, концентрация хлорид-ионов не превышала 0,03 мг/кг, а ионов железа – 0,02 мг/кг. Во время длительного гидродинамического возмущения при работе ЦНПК на большой скорости с отключенными ионообменными фильтрами наблюдался всплеск концентрации железа (до 0,08 мг/кг), что значительно ниже установленных норм по ОСТ В95Р.823-2008.

Ненормируемые примеси контролировались в теплоносителе первого контура с целью определения служебных свойств ионообменных смол импортного производства и опытной партии отечественного производства, которые проходили ресурсные испытания в фильтрах перового контура в период кампании, а также для выполнения исследовательских программ по другим направлениям. Согласно результатам, полученным за весь период кампании, анионный и катионный состав теплоносителя первого контура в целом оставался стабильно низким.

Водный режим второго контура в течение 2017 года соответствовал требованиям ОСТ В5Р.4296-88. После цикла испытаний приводилась промывка секций парогенераторов влажным паром. В результате промывки с теплопередающих поверхностей парогенераторов было удалено ~ 2 грамма отложений. Дополнительно, для более полного удаления оставшихся отложений, выполнялись работы по отмывке парогенераторов горячей водой, при этом максимальное количество смытых отложений достигало 5 грамм. Состав отложений определялся в большей степени сульфатами, а также медью, никелем и цинком.

За период кампании **водно-химический режим третьего контура** был стабильным и соответствовал требованиям ОСТ В95Р.823-2008.

Оценка состояния газового режима основных технологических контуров

Содержание растворенных газов в теплоносителе первого контура определялось путем отбора проб теплоносителя как при работе на мощности, так и в стояночных режимах. Относительная погрешность измерения содержания растворенных газов в диапазоне концентраций от 300 до 3000 нмл/кг не превышала 15 % отн.

Основными газообразными компонентами в теплоносителе первого контура являлись азот, водород и предельные углеводороды – метан, этан, пропан, изобутан и нормальный бутан. В отбираемых пробах газа содержание кислорода за все время испытаний не превышало предела определения 0,01 % об, содержание оксидов углерода находилось на уровне 0,001 % об. Кроме того, в теплоносителе присутствовал гелий, который используется при проверке герметичности систем стенда.

На *рисунке 2* приведены данные, характеризующие изменение концентраций основных газов в теплоносителе первого контура в течение 2017 года.

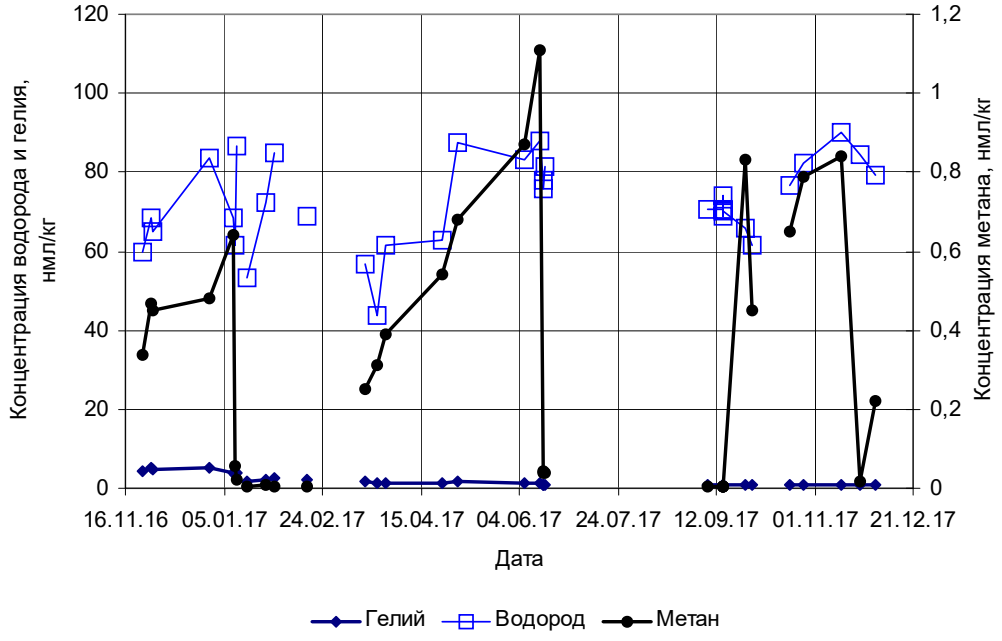


Рисунок 2 – Изменение концентрации газов в теплоносителе первого контура

С учётом того, что в указанный период времени на энергетических уровнях мощности установка находилась достаточное время, поведение водорода и предельных углеводородов (на примере метана) на *рисунке 2* четко связано с радиолизом и термолизом воды и органических примесей теплоносителя. При работающем реакторе эти газы появляются в теплоносителе первого контура и со временем выходят на свои индивидуальные стационарные значения концентраций.

На *рисунке 3* приведены результаты периодических измерений концентрации водорода в теплоносителе первого контура в трёх циклах испытаний (соответственно водород – 1, 2, 3 на *рисунке 3*) после выхода реактора на мощность. Видно, что концентрация водорода во всех циклах стабилизировалась на уровне (80 ± 10) нмл/кг. Аналогично, стационарный

уровень концентраций азота и гелия при работе реактора на мощности составили, соответственно, (1700 ± 200) нмл/кг и (1,0 ± 0,4) нмл/кг.

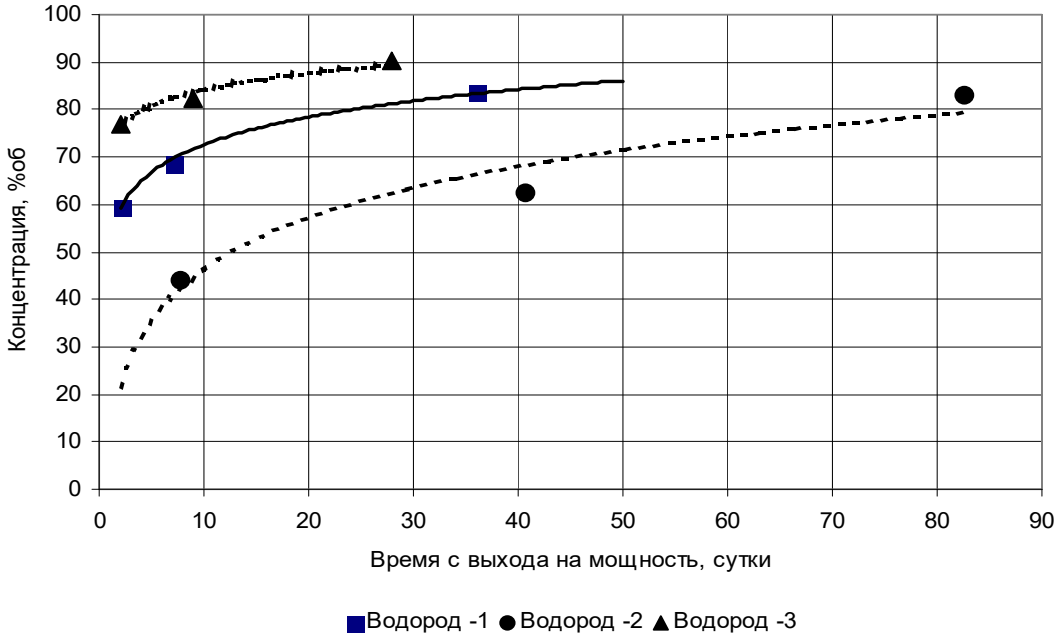


Рисунок 3 – Изменение концентрации водорода с момента выхода на мощность

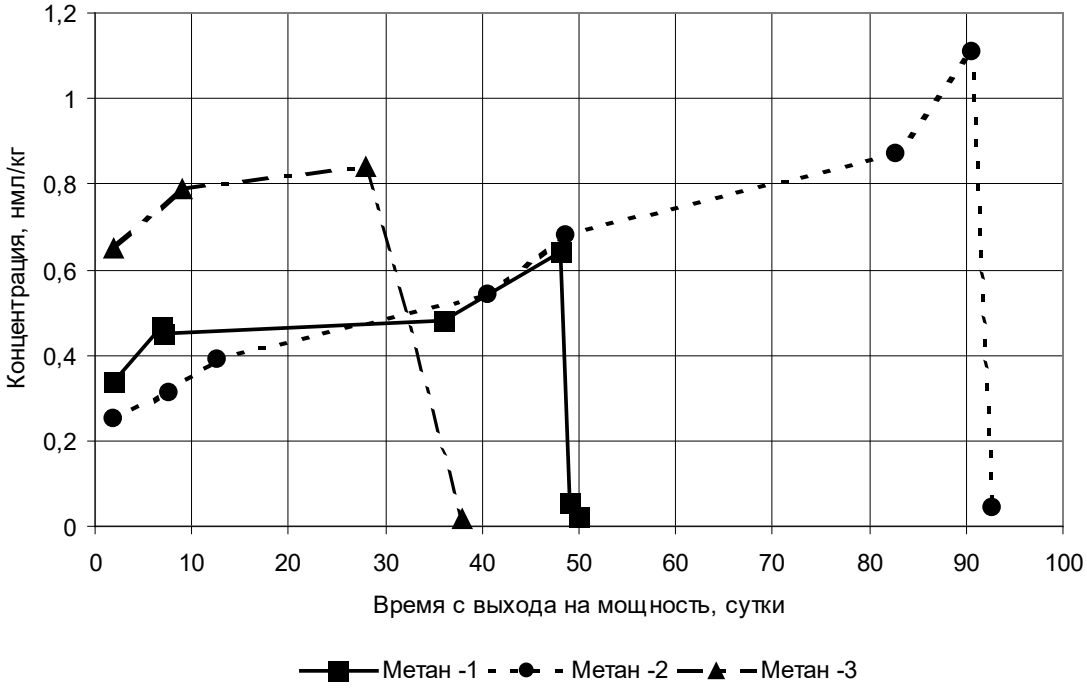


Рисунок 4 – Изменение концентрации метана с момента выхода на мощность

Концентрация метана при работе на мощности во всех периодах достигала значения (0,9 ± 0,5) нмл/кг (*рисунок 4*). Однако, как и в предыдущих кампаниях эксплуатации стенда,

при остановке реактора содержание предельных углеводородов в теплоносителе снижалось практически до нуля, в то время, как содержание азота, водорода и гелия изменялось незначительно.

Такое поведение предельных углеводородов может быть объяснено следующим:

- после остановки реактора температура теплоносителя снижается, при этом уменьшается растворимость газообразных примесей. Из зависимости изменения коэффициентов растворимости основных газов, растворенных в теплоносителе (водорода и азота), от температуры, следует, что даже небольшое уменьшение температуры в диапазоне 290…310 °С приводит к значительному снижению растворимости водорода и азота;
- при снижении растворимости эти газы выделяются в парогазовую фазу, захватывая с собой предельные углеводороды;
- парогазовая фаза контактирует с тепловыделяющими элементами (ТВЭЛами), нагретыми до высокой температуры, при которой происходит термическое разложение органических примесей на поверхности ТВЭЛов с образованием водорода и углерода и, соответственно, с «исчезновением» метана в теплоносителе первого контура.

С учётом того, что причиной появления в теплоносителе предельных газообразных углеводородов (метана, этана, пропана и др.), как известно, является радиационно-термическое разложение органических технологических примесей (например, продуктов деструкции ионитов), проводилось определение относительного содержания компонентов в составе предельных углеводородов.

В *таблице 1* приведены усредненные относительные доли метана, этана, пропана и бутанов в текущей кампании по сравнению с предыдущей кампанией. Видно, что соотношение предельных углеводородов в текущей кампании практически не изменилось по сравнению с предыдущей, что свидетельствует о том, что и состав органических примесей в теплоносителе остался прежним.

Таблица 1

Относительные доли предельных углеводородов, продуктов разложения органических примесей в теплоносителе первого контура в кампаниях

Кампании	Относительная доля, %				
	Метан	Этан	Пропан	Изо-бутан	Н-бутан
Предыдущая	93,69±0,69	4,20±0,38	1,52±0,26	0,56±0,18	0,10±0,04
Текущая	93,96±0,34	4,30±0,24	1,11±0,10	0,49±0,05	0,09±0,02

В стояночных режимах периодически проводился анализ проб газа из компенсатора объёма первого контура, по результатам которого принимались решения о проведении замены газа. В *таблице 2* приведены типичные результаты анализа состава газа перед заменой и после замены.

Таблица 2

Результаты анализа газа из компенсатора объёма

Концентрация газов, % об									
He	H_2	O_2	N_2	CO_2	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	и-C_4H_{10}	н-C_4H_{10}
Проба перед заменой									
0,24	1,13	<0,01	97,7	0,002	0,0076	0,00037	0,00012	0,00009	0,00003
Проба после замены									
0,057	0,47	<0,01	96,5	0,0006	0,0028	0,00012	0,00004		

Из представленных данных видно, что после замены газа содержание примесей в компенсаторе объёма значительно снижалось.

Исследования газового режима третьего контура стенда ЯЭУ основывались на определении содержания водорода и кислорода в пробах воды до и после ионообменного фильтра и содержание водорода, кислорода, азота и диоксида углерода в пробах газа из расширительного бака третьего контура.

Экспериментальные данные показали, что в период до 09.01.2017 концентрация кислорода в воде третьего контура находилась на уровне 6,0 нмл/кг, концентрация водорода на уровне 0,44 нмл/кг. Концентрация водорода в расширительном баке достигала значения 2,3 % об., но при этом не превышала взрывоопасных концентраций. Концентрация диоксида углерода в газовой фазе расширительных баков не превышала 0,023 %об.

Подобные колебания концентрации контролируемых газов в теплоносителе третьего контура фиксировались и в периоды этих циклов испытаний. К завершению текущего цикла испытаний (последнего в 2017 году) концентрация кислорода в воде третьего контура находилась на уровне 4,7–5,1 нмл/кг, концентрация водорода на уровне 0,6–0,8 нмл/кг. Концентрация водорода в расширительном баке достигала значения 2,9 % об, но не превышала взрывоопасных концентраций (более 3 % об). Концентрация диоксида углерода в газовой фазе расширительных баков не превышала 0,003 % об., водорода и кислорода в воде до и после ионообменного фильтра практически не отличалась друг от друга.

Представленные данные свидетельствуют о стабильном поддержании физико-химических показателей технологических сред в период ресурсных испытаний стенда транспортной ЯЭУ.

Результаты коррозионного мониторинга оборудования основных технологических контуров

В течение 2017 года выполнялись работы по мониторингу коррозионного состояния оборудования основного и вспомогательных контуров стенда. Методами химического и гамма-спектрометрического анализа выполнялся контроль качественного и количественного и радионуклидного состава продуктов коррозии в теплоносителе основного и вспомогательных контуров.

В пробах теплоносителя содержание легирующих элементов – продуктов коррозии сталей (Ni, Cr, Zn, Mn), определенное методом атомно-эмиссионного анализа, во всех случаях было ниже пределов обнаружения. Среднее значение концентрации Fe в теплоноси-

телях за контролируемый период составляло 5 мкг/кг. Уровень активности радионуклидов коррозионного происхождения в теплоносителе (^{51}Cr, ^{59}Fe, ^{58}Co, ^{60}Co, ^{54}Mn) определялись на уровне (10^{-7}–10^{-5}) Ки/кг, что свидетельствует о низких значениях скоростей выноса продуктов коррозии в активную зону.

Коррозионное состояние конденсатно-питательного тракта оценивалось по результатам определения химического состава продуктов коррозии (ПК), выделенных на микрофильтрах 0,2 мкм, методом атомно-эмиссионного анализа. Установлено, что в пробах конденсата пара и питательной воды содержание ПК (Fe, Ni, Cr, Zn, Mn), кроме Cu, во всех случаях составляло значения ниже пределов обнаружения определяемым методом. Средние за наблюдаемый период значения концентрации меди на различных участках пароводяного тракта составили: в конденсате пара – 12 мкг/л; в питательной воде – 6 мкг/л; в воде парогенератора (ПГ) – 10 мкг/л.

Результаты качественного анализа состава продуктов коррозии в пробах теплоносителя второго и третьего контуров стенда позволяют сделать вывод об отсутствии нарушений ВХР и стабильном коррозионном состоянии технологического оборудования ЯЭУ.

Испытания ресурсных характеристик ионообменных смол в фильтрах основных технологических контуров

Для получения экспериментальных данных о ресурсных характеристиках опытной партии ионообменных смол ядерного класса отечественного производства проводились их испытания **в ионообменных фильтрах первого контура**. Нарушений нормируемых показателей ВХР первого контура не отмечалось. Концентрации ненормируемых примесей в теплоносителе первого контура (ацетатов, фторидов, сульфатов, нитратов, нитритов и т.д.) не превышали значения 0,01 мг/кг, содержание общего органического углерода находилось на уровне 160 мкг/кг, что характерно для условий ионообменной очистки водных сред. Коэффициент очистки по радионуклидам йода составлял значения, близкие к 100.

В фильтрах второго контура использовалась загрузка импортных ионообменных смол: сильнокислотного катионита AMBERLITE IRN 99 в H^+-форме и сильноосновного анионита AMBERLITE IRN 78R в OH^-форме в соотношении 1:1. На конец 2017 года наработка ионообменных смол в фильтрах второго контура составила 27150 часов. За весь период величина полной статической емкости (ПСОЕ) катионита снизилась не более чем на 25 %, а анионита меньше чем на 30 %. По результатам регламентного технологического и исследовательского контроля вода второго контура соответствовала требованиям ОСТВ5Р.4296-88. Концентрации ненормируемых примесей в воде второго контура (ацетатов, фторидов, сульфатов, нитратов, нитритов и т.д.) не превышали значения 0,01 мг/кг.

В начале предыдущего цикла в воде **третьего контура** до ионообменного фильтра фиксировалось повышение концентрации ионов меди, значения которой приближались к величине 0,03 мг/кг, после фильтра медь отсутствовала, как и другие нормируемые и ненормируемые примеси. В период проведения МЦО были отобраны пробы шихты из фильтра третьего контура с трёх горизонтов (верх, середина, низ). После разделения смолы на катионит и анионит, было определено их соотношение в слоях фильтра. Результаты приведены в *таблице 3*.

Таблица 3

Результаты анализа ионитов из фильтра третьего контура

Точка отбора	Катионит, %	Анионит, %	ПСОЕ, ммоль/см^3	
			Катионит	Анионит
сб. 17 верх	24	76	1,30	1,10
сб.17 середина	46	54	0,63	1,10
сб.17 низ	89	11	0,78	1,10

Согласно полученным результатам, величина полной статической емкости катионита в среднем снизилась от исходной на 76 %, анионита на 8 % при наработке 13700 часов. На основании этого, использование данной загрузки ионообменной смолы было признано невозможным. В результате была произведена замена фильтрующей загрузки на катионит марки Dowex Monosphere 650C NG и анионит Dowex SBR LC NG в соотношении 1:2, что обеспечило поддержание нормируемых показателей качества воды третьего контура на завершающих этапах циклов испытаний.

Результаты радиационного контроля газо-аэрозольных выбросов, сбросов и грунтовых вод НИТИ в период работы стендов ЯЭУ в 2017 году

В 2017 году радиационный контроль газо-аэрозольных выбросов и сбросов, сформированных за счет ресурсных испытаний и межцикловых ремонтных и модернизационных работ на стендах ЯЭУ, проводился в соответствии с Регламентами (*Регламент радиационного контроля в зданиях стендов и на территории института. Регламент эксплуатации АСКРО в С33 и ЗН ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»*. Радиационный контроль грунтовых вод в районе зданий стендов проводился в соответствии с Программой (*Программа ведения объектного мониторинга состояния недр во ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»*.

При эксплуатации стенда образовалось порядка $3{,}54 \cdot 10^{11}$ Бк/год радиоактивных выбросов *(таблица 4)*.

Таблица 4

Состав и активность газо-аэрозольных выбросов за период эксплуатационных, ремонтных и модернизационных работ на стенде ЯЭУ в 2017 году

Наименование загрязняющих веществ	Разрешенный допустимый выброс (ДВ), Бк *	Фактический годовой выброс		
		Активность, Бк	От общей активности, %	От ДВ, %
^{41}Ar	$1{,}263 \cdot 10^{12}$	$1{,}42 \cdot 10^{10}$	4	1,12
^{85m}Kr	$7{,}368\ 10^{10}$	$1{,}77 \cdot 10^{10}$	5	24,02
^{87}Kr	$1{,}895 \cdot 10^{11}$	$3{,}19 \cdot 10^{10}$	9	16,83
^{88}Kr	$8{,}421 \cdot 10^{11}$	$8{,}50 \cdot 10^{10}$	24	10,09
^{133}Xe	$3{,}509 \cdot 10^{12}$	$9{,}91 \cdot 10^{10}$	28	2,82
^{135}Xe	$2{,}351 \cdot 10^{12}$	$1{,}06 \cdot 10^{11}$	30	4,51
^{137}Cs	$1{,}193 \cdot 10^{8}$	–	–	–
^{90}Sr **	$4{,}070 \cdot 10^{7}$	$6{,}21 \cdot 10^{4}$	< 0,0001	0,15

Примечание: * – на основании Разрешения СЕМТУ по надзору за ЯРБ Ростехнадзора № СЕ-ВРВ-210-023 от 22.12.2014 г.; ** – расчёт проведён на основании среднегодовых значений по данным 2014–2016 гг.

Аэрозольная активность годовых выбросов долгоживущих радионуклидов представлена только нуклидом ^{90}Sr, которая на 6 порядков ниже суммарной активности ИРГ. В 2017 году ^{137}Cs в выбросах не было обнаружено.

В 2017 году по результатам радиационного мониторинга воды объёмная активность нуклидов в водах сбросного и заборного каналов достоверно не отличались, поэтому сброс радиоактивных веществ со стенда ЯЭУ оценивался по результатам контроля объёмов и активности воды в соответствующем накопительном баке, сливы из которого на 20 % по суммарной активности сформированы душевыми и обмывочными водами, поступающими со стенда ЯЭУ, и организованы в сбросной канал НИТИ (*таблица 5*).

Таблица 5

Состав и активность сбросов со стенда ЯЭУ в 2017 году

Нуклид	Разрешенный допустимый сброс (ДС), Бк*	Сброс из бака	
		Бк	% от ДС
^{3}H	$2{,}4 \cdot 10^{12}$	$1{,}99 \cdot 10^{10}$	0,83
^{90}Sr	$1{,}2 \cdot 10^{7}$	$1{,}84 \cdot 10^{4}$	0,15
^{137}Cs	$3{,}6 \cdot 10^{6}$	$2{,}39 \cdot 10^{5}$	6,63

Примечание: * – на основании Разрешения СЕМТУ по надзору за ЯРБ Ростехнадзора № СЕ-СРВ-210-037, 2016 год.

В 2017 году активность сброса радиоактивных веществ в водные объекты от эксплуатации стенда ЯЭУ была ниже установленной величины допустимого содержания соответствующих радионуклидов. Общая активность сброса радионуклидов из бака, обусловленная работой стенда, составила не более $2{,}0 \cdot 10^{10}$ Бк и в основном связана с активностью трития. Активность других техногенных нуклидов в сбросе за счёт эксплуатации стенда находилась на уровне $2{,}6 \cdot 10^{5}$ Бк.

Индивидуальная эффективная доза облучения населения в 2017 году от эксплуатации наземного прототипа транспортной ЯЭУ не превысила $2{,}9 \cdot 10^{-10}$ Зв/год, что соответствует уровню радиационного риска $1{,}7 \times 10^{-11}$ год$^{-1}$. По Нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009) уровень годового граничного значения обобщенного риска для населения составляет 1×10^{-5} год$^{-1}$.

Анализ радиоэкологической информации и оценка дозовых нагрузок, сформированных эксплуатацией стенда ЯЭУ, свидетельствует о практическом отсутствии влияния работы стенда на радиационную обстановку в районе расположения ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

Заключение

1. В 2017 году водно-химические режимы основных технологических контуров поддерживались в соответствии с нормативными требованиями, отклонений и нарушений не наблюдалось. Газовый режим первого контура стенда транспортной ЯЭУ за все время испытаний в 2017 году оставался стабильным, содержание кислорода в теплоносителе и в газе компенсаторов объёма находилось на минимальном уровне.

– Состояние активной зоны реактора в период 2017 года оценивалось как «нормальное». Основной критерий оценки состояния активной зоны – активность суммы йодов в теплоносителе имела максимальное значение $1{,}4 \cdot 10^{-4}$ Ки/кг, что в 1,5 раза ниже предела перехода из «нормального» в «допустимое» состояние, дополнительный критерий – альфа-активность теплоносителя была $2{,}9 \cdot 10^{-4}$ Ки/кг (значение перехода $1{,}35 \cdot 10^{-8}$ Ки/кг).

2. За все время работы стенда транспортной ЯЭУ в 2017 году содержание водорода в газовой фазе расширительных баков не достигало взрывоопасных концентраций (более 3 % об.). Результаты исследований газового режима технологических сред третьего контура показали, что одним из критериев работы ионообменного фильтра является концентрация диоксида углерода в газовой фазе расширительного бака. Исчерпание ресурса фильтра приводит к повышению содержания диоксида углерода в технологических средах третьего контура, снижению содержания кислорода за счет его взаимодействия с конструкционными материалами и снижению содержания водорода вследствие взаимодействия с примесями, связанными на фильтре.

3. Исследование газового состава полостей приводов ИМ А3 в 2017 году показало стабильное накопление в них коррозионно- и взрывоопасных компонентов: водорода, оксида углерода, метана и аммиака (максимальные значения составили: водород – 24,9 % об., оксида углерода – 1,1 % об., метана – 2,2 % об., аммиак – 14,5 % об.).

4. Незначительное содержание продуктов коррозии в составе эксплуатационных загрязнений теплоносителя основного и вспомогательных контуров свидетельствует об отсутствии значимых показателей общей коррозии оборудования ЯЭУ. Усредненная за 2017 год концентрация железа в теплоносителе первого контура составляла 5 мкг/л. В пробах конденсата пара и питательной воды содержание ПК (Fe, Ni, Cr, Zn, Mn), кроме Cu, во всех случаях была ниже пределов обнаружения определяемым методом. Средние значения концентрации меди на различных участках пароводяного тракта составили: в конденсате пара – 12 мкг/л; в питательной воде – 6 мкг/л; в воде ПГ – 10 мкг/л.

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

Безопасность эксплуатации ядерных энергетических установок (ЯЭУ) зависит от точности и достоверности получаемой от средств измерений (СИ) информации. При этом подтверждение пригодности к эксплуатации СИ и измерительных систем является основной задачей метрологического обеспечения безопасной эксплуатации ЯЭУ.

Основным подразделением, выполняющим работы по метрологическому обеспечению средств измерений и измерительных каналов (ИК) измерительных систем стендовых комплексов (СК) института является отдел метрологических исследований ОМИ (метрологическая служба МС). В 2017 году, в соответствии с требованиями федерального закона № 412-ФЗ, подтверждена компетентность метрологической службы на право поверки средств измерений с расширением области аккредитации на одиннадцать типов (групп) средств измерений. Для осуществления своей деятельности метрологическая служба обеспечена в полном объёме нормативными правовыми актами, документами в области стандартизации и метрологии, иными документами, устанавливающими требования к работам по обеспечению единства измерений, указанным в области аккредитации.

Для поверки СИ метрологическая служба использует 264 рабочих эталона, прошедших процедуру первичной аттестации в соответствии с Приказом ГК Росатом» № 1/12 НПА. Поверка (калибровка) СИ осуществляется в соответствии с план-графиками ежегодной поверки (калибровки) СИ, утверждёнными главным метрологом института. Графики поверки (калибровки) СИ, в том числе рабочих эталонов, соблюдаются. 75 % эталонов поверяются в организациях Росстандарта. Метрологическая служба обеспечена специальными помещениями для поверки и ремонта СИ, укомплектована квалифицированными специалистами, соответствующими требованиям критериев аккредитации, прошедшими обучение в органах Росстандарта и АНО ДПО Техническая академия «Росатома». Испытательное оборудование (ИО) проходит аттестацию в соответствии с технической документацией. Перечни ИО, СИ, эталонов, актуализированы и согласованы с 4939 ВП МО РФ. Метрологический надзор проводится в рамках внутренних аудитов системы менеджмента качества в соответствии с СМК 4.2.2-2013 и СТО 7.6-2015 «Мониторинг состояния метрологического обеспечения в НИТИ».

В 2017 году отделом метрологических исследований проведены работы по метрологическому обеспечению средств измерений и измерительных каналов технологических систем стендовых комплексов (СК) в объёме подготовки к очередным этапам их испытаний. Целью работ являлось повышение достоверности измерительной информации, обеспечение безопасности испытаний, повышение эффективности и качества проводимых исследований, обеспечение оптимальных алгоритмов управления систем СК.

Подтверждена метрологическая пригодность более 19000 ед. СИ (поверка, калибровка), из них в организациях Росстандарта поверено 831 ед. СИ. Осуществлен входной контроль 1293 ед. СИ, поставлены на метрологический учёт 1347 ед. СИ, осуществлена метрологическая экспертиза и согласование 47 экз. научно-технических документов, рассмотрены и согласованы 253 заявки на закупку СИ.

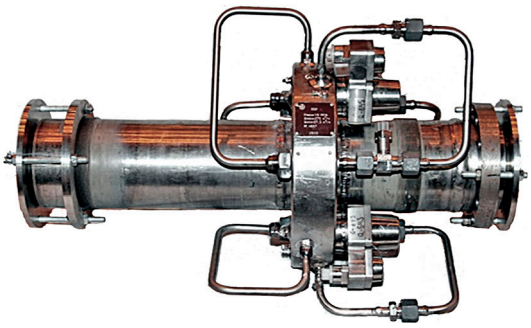
В объёме подготовки СИ (ИК) технологических систем стенда-прототипа ЯЭУ к очередному этапу испытаний, выполнены важные и ответственные работы по повышению эксплуатационной надежности средств измерений, разработанных в НИТИ и созданных для управляющей системы безопасности – штатных трёхканальных расходомеров питательной воды типа ПРТП-489-АПЛ и «Дроссель-1ПН-МК». В соответствии с предложениями ОМИ, одобренными решением МВК, для повышения помехоустойчивости и стабильности работы измерительных каналов расходомера ПРТП-489-АПЛ, осуществлена перестройка порогов чувствительности вторичного преобразователя ИПЧ-3 расходомера к частотным сигналам с амплитудой 5мВ на амплитуду 32 мВ. Выполнена подстройка градуировочных характеристик ИК расходомера «Дроссель-1ПН-МК» под градуировочные характеристики расходомера ПРТП-489-АПЛ, путем масштабирования сигналов во вторичном преобразователе НПР-3М, что позволило устранить дополнительную погрешность, вызванную несоответствием градуировочных характеристик штатного сужающего устройства и макета сужающего устройства (с которым проводились МВИ). Осуществлен комплекс дополнительных мероприятий, способствующих повышению помехозащищенности измерительных каналов расходомеров ПРТП-489-АПЛ и «Дроссель-1ПН-МК» за счёт восстановления отсутствующих экранов в цепях линий связи ИК на участках токовводов через две защитные оболочки корпусов. После восстановления защитных экранов, проверено отсутствие помех в измерительных цепях расходомеров при подаче питания на датчики и сигнализаторы всех параметров ТТК СК. Выполнены работы по дополнительной проверке работоспособности трёх основных (штатных) преобразователей ТПРГ2-10 и трёх преобразователей ТПРГ2-10 из состава ЗИП расходомера ПРТП-489-АПЛ по разработанной программе путем задания на трубопроводе малых расходов в течение 24 часов номинального расхода водой высокой чистоты, соответствующей требованиям ОСТ 95 306-76. Подтверждено соответствие частоты выходных сигналов преобразователей ТПРГ2-10 на номинальном расходе их паспортным данным. Под контролем специалистов ОМИ осуществлен монтаж преобразователей ТПРГ2-10 на штатные места.

Для проверки влияния поперечной вибрации на метрологические характеристики расходомера ПРТП-489-АПЛ выполнен комплекс работ по созданию специального расходомерного стенда. Расходомерный стенд обеспечивает возможность задания стабильного расхода воды через турбинный преобразователь ТПРГ2-10 в нормируемом диапазоне измерения с одновременным воздействием на преобразователь поперечной вибрации амплитудой от 5 до 16 мм/с. Осуществлена проверка влияния поперечной вибрации на метрологические характеристики (МХ) измерительных каналов расходомера по разработанной

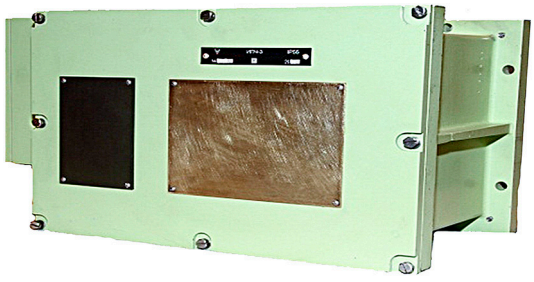
программе. Экспериментально доказано отсутствие влияния поперечной вибрации на МХ расходомера ПРТП-489-АПЛ.

Перед этапом горячих испытаний СК проведены дополнительные проверки «контроля исправности» ИК расходомеров ПРТП-489-АПЛ и «Дроссель-1ПН-МК», состояния («открыт», «закрыт») отсечных и уравнительных клапанов ИК расходомера «Дроссель-1ПН-МК», обучение и проверка знаний членов комплексной сдаточной команды.

Внешний вид расходомера ПРТП-489-АПЛ



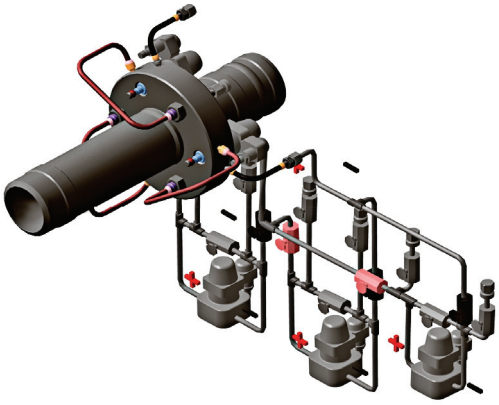
Первичный преобразователь



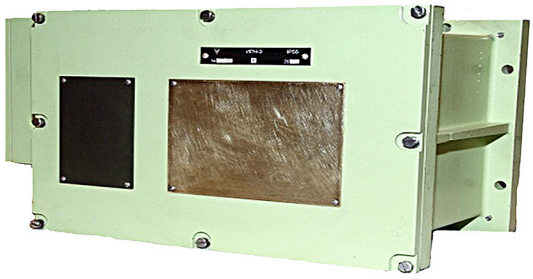
Вторичный измерительный преобразователь ИПЧ-3

В соответствии с предложениями ОМИ, одобренными решениями СГК, в 2017 году завершена реализация проекта по созданию резервного образца трёхканального расходомера питательной воды «Дроссель-1ПН-МК» для управляющей системы безопасности СК. Осуществлен выбор датчиков разности давления типа 44ДД с минимальным температурным дрейфом выходных сигналов. В рамках договора с НИТИ АО «ПЗ «ВИБРАТОР» изготовлены и поставлены три дополнительные кассеты БФП-2 (ЗИП) для дооснащения вторичного преобразователя расходомера НПР-3М. Выполнены работы по комплектации, настройке и определению в лабораторных условиях основных метрологических характеристик ИК комплектов преобразования перепада давления (КППД) расходомера по программе и методике предварительных испытаний. Для проведения предварительных и приемо-сдаточных испытаний (ПСИ) осуществлен монтаж на расходомерном стенде ЭРС компонентов резервного расходомера (макета сужающего устройства, трёх первичных преобразователей ППД-13 датчиков 44ДД). Выполнена настройка и проверка на функционирование каналов расходомера с заданием расхода в нормируемом диапазоне. Разработано, согласовано с заинтересованными организациями и утверждено департаментом ДРЯБП и ВЭУ «Росатома» Решение «О порядке приемки резервного расходомера питательной воды…». Специалистами ОМИ в составе рабочей группы, назначенной приказом генерального директора института, проведены предварительные и приёмо-сдаточные испытания расходомера на стенде ЭРС. Оформлены и подписаны протоколы и акт ПСИ. Разработаны технические предложения по размещению, гидравлическим и электрическим подключениям первичных и вторичных преобразователей расходомера на штатные места. Выпущена методика калибровки ИК расходомеров «Дроссель-1ПН-МК» в условиях эксплуатации.

Внешний вид расходомера «Дроссель-1ПН-МК»



Первичный преобразователь ППР



Измерительный преобразователь НПР-3М

Сотрудники ОРБ приняли участие в создании и испытаниях трубопровода малых расходов (ТМР), используемого для отмывки оборудования СК и диагностики работоспособности средств измерений расхода. Разработана эксплуатационная документация на ТМР и шкаф аппаратуры из состава ТМР. Совместно с эксплуатирующим подразделением проведены пусконаладочные испытания изделия по разработанной программе. Осуществлена проверка режимов работы ТМР при разных температурах рабочей среды. По результатам испытаний, выданы предложения по доработке ТМР.

По служебным запискам подразделений института выполнен большой объём дополнительных работ по метрологическому обслуживанию и диагностике технического состояния СИ (ИК) СК с применением нетрадиционных методов метрологического обеспечения. По предложениям ОМИ, на стадиях проектирования и монтажа оборудования измерительных систем СК, были предусмотрены специальные встроенные приспособления (оснастка) для проведения бездемонтажного обслуживания ИК теплотехнического контроля (давления, расхода, разности давления, температуры), что повысило качество и надежность процедур подтверждения метрологической пригодности СИ (ИК), снизило трудозатраты на проведение работ, не требующих выполнения демонтажа средств измерений с штатных мест, доставки в лабораторию поверки с последующим возвратом и монтажом на штатные места.

Осуществлена настройка и бездемонтажная поверка на месте эксплуатации 259 ед. средств измерений, входящих в состав различных измерительных систем СК. Выполнены работы по ремонту и первичной поверке 44 ед. СИ.

По заданию Главного конструктора РМ выполнены работы по определению на месте эксплуатации действительных значений погрешности в десяти заданных точках диапазона измерения ИК давления на выходе из реактора с датчиками 44ДА. В соответствии с расширенной областью аккредитации, осуществлен комплекс работ по бездемонтажной поверке 38 единиц ротаметров типа РМ-2,5 ГУЗ и РМ-4,0 ГУЗ системы АСРК с использованием переносной эталонной поверочной установки СПУ-3-16-300-2-1. В обеспечение демонтажа РМ,

в соответствии с техническими требованиями «Перечня ПОР…», по разработанной ОМИ методике, выполнен комплекс работ по градуировке бака БВ-2 ССДР, предназначенного, в соответствии с технологическим процессом, для слива теплоносителя из РМ. Для выполнения градуировки бака проведена калибровка эталонных мерников М2р-50-02 объёмом 50 л и М2р-100-02 объёмом 100 л, осуществлена поверка установленного взамен штатного уровнемера «Сапфир-22ДУ», буйкового уровнемера типа УБ-ЭМ1-2620-А. Выполнена градуировка баллонов Б1СП, Б2СП, Б3СП пусковой системы по методике, разработанной ОМИ.

Проведены работы по градуировке 8 ед. акселерометров типа 8324 из состава ЗИП системы виброизмерений. Осуществлена (в связи с заменой буйка) перенастройка диапазона измерения и градуировка преобразователя уровня буйкового УБ-ЭМ1. Определены причины и устранена неисправность кассеты ПИП датчика давления ДСИ 111 системы безопасности в части несоответствия значения выходного сигнала датчика при проведении процедуры контроля его работоспособности значению, нормируемому в эксплуатационной документации. Принято участие в проведении этапа горячих испытаний СК. Измерительные каналы параметров ТТК и штатные расходомеры питательной воды ПРТП-489-АПЛ и «Дроссель-1ПН-МК» функционировали без замечаний, обеспечив безопасное проведение испытаний СК с положительным результатом.

В 2017 году ОМИ проводились работы по метрологическому обеспечению испытаний на стенде-прототипе ЯЭУ. Работы выполнялись при участии подразделений ОКЭЭР и ОДИ в соответствии с «Программой испытаний, исследований» и «Годовым планом испытаний и проведения НИР на стенде ЯЭУ в 2017 году» (с привязкой к циклам ресурсных испытаний).

Проведены периодические работы по подготовке эталонных и вспомогательных средств измерений, монтажу измерительных схем и определению действительных метрологических характеристик 33 штатных измерительных каналов давления, 6 измерительных каналов температуры системы управления и защиты в изотермическом режиме, 6 измерительных каналов температуры системы внутриреакторного контроля с термоэлектрическими преобразователями типа ТХА и ТХК, 33 измерительных каналов температуры, 24 токовых и фоновых измерительных каналов ИВК «АНИС-В1».

Разработан и выпущен промежуточный отчёт о НИР: «Исследование метрологических и ресурсных характеристик измерительных каналов СУЗ». Выполнен комплекс работ по периодическому техническому обслуживанию, настройке, градуировке, проверке технического состояния и поверке штатных расходомеров питательной воды «Дроссель-1» и МКР-1 (разработка НИТИ) в соответствии с требованиями эксплуатационной документации и разделительной ведомостью технического обслуживания расходомеров между ОМИ и эксплуатирующим подразделением.

7. ИССЛЕДОВАНИЯ ТЯЖЁЛЫХ АВАРИЙ

7.1 Исследование особенностей существования трёхжидкостной структуры ванны расплава кориума с коркой между лёгким металлом и оксидно-металлическим расплавом, имеющей высокую степень окисленности

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

7.3 Исследование распределения компонентов кориума, бетона подреакторной шахты и продуктов деления на внекорпусной стадии тяжёлой аварии

7. ИССЛЕДОВАНИЯ ТЯЖЁЛЫХ АВАРИЙ

В 2017 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 тяжёлых аварий АЭС.

В рамках выполнения задач СР2 и СР3 по программе CORDEB2 (контракт НИТИ – IRSN-Франция) проведены эксперименты по:

- Исследованию особенностей существования трёхслойной структуры ванны расплава кориума с коркой между легким металлом и оксидно-металлическим расплавом, в случае, когда корка имеет более высокую степень окисленности по сравнению с экспериментами серии CD1 проекта CORDEB.
- Исследованию особенностей существования трёхслойной структуры ванны субокисленного расплава кориума с тонким слоем лёгкого металла на поверхности корки.

На основе полученных экспериментальных данных по программе CORDEB2, помимо кинетики и механизма трансформации трёхслойной структуры, разработан термодинамический подход к описанию трёхслойной ванны расплава в условиях градиента температуры. Разработанный подход позволяет получать информацию о стационарных состояниях системы (состав, долю и отношения сосуществующих фаз), что является базовой и необходимой информацией для проведения количественных прогнозных расчётов сценариев аварии. Полученные результаты были представлены на конкурс научных работ НИТИ в 2017 году.

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 процесса кристаллизации расплава системы «кориум – бетон – продукты деления» для условий, характерных для реакторов типа ВВЭР и BWR. Полученные результаты позволяют расширить представления о структуре ванны расплава и распределении компонентов между сосуществующими жидкими и твердыми фазами на внекорпусной стадии тяжёлой аварии.

Ниже изложены основные результаты исследований, проведенных ОИТА в 2017 году.

7.1 Исследование особенностей существования трёхжидкостной структуры ванны расплава кориума с коркой между легким металлом и оксидно-металлическим расплавом, имеющей высокую степень окисленности

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.

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 тяжелого металла – расплав оксидов – оксидная корка – расплав лёгкого металла», которая сохраняется в течение длительного времени. Также экспериментально было установлено, что поверхностный слой стали, который в условиях тяжёлой аварии может образоваться на корке оксидно-металлической ванны расплава состава С-30, проникает через неё, что приводит к уменьшению толщины слоя металла.

Исследование трансформации трёхжидкостной структуры ванны расплава субокисленного кориума с более высоким индексом окисленности (С-70 по сравнению С-30 в серии CD1), проведенное по программе CORDEB2 в 2016 году на установке «Расплав-3» экспериментального комплекса «Расплав» в серии опытов CP1 не выявило значительного изменения структуры ванны. Вместе с тем, при формировании ванны расплава в корпусе реактора при тяжёлой аварии АЭС с плавлением активной зоны возможно поступление окислителя, которое может привести к образованию на поверхности ванны расплава с низкой степенью окисленности корки с большей степенью окисленности, чем та, которая была исследована в опытах CD1. Более высокая степень окисленности корки может привести к замедлению или полному прекращению массообмена между оксидно-металлической ванной и поверхностным слоем металла (как это наблюдалось в серии CP1). Также при формировании ванны расплава в корпусе реактора возможно поступление различного количества нержавеющей стали. В проекте OECD MASCA [1] было обнаружено, что двухжидкостная оксидно-металлическая ванна расплава в зависимости от количества нержавеющей стали имеет различную структуру (металлическая составляющая ванны может занимать как донное, так и поверхностное положение).

В связи с этим, в рамках задачи 2 проекта CORDEB2 было предложено проведение серии экспериментов, целями которых являлись:

- исследование особенности структуры корки на поверхности ванны расплава кориума С-60 (эксперимент PreCP2-01) при её окислении для дальнейшего выбора момента прекращения интенсивного окисления корки в экспериментах серии CP2;

– изучение влияния параметров оксидной корки на перераспределение компонентов в трёхжидкостной ванне расплава при различном времени экспозиции (180 мин – CP2-01 и 360 мин – CP2-02).

Эксперименты PreCP2-01 и CP2-01÷02 проводили на установке «Расплав-3» с высокочастотным генератором мощностью 100 кВт и частотой тока 120 кГц. Основным варьируемым параметром в экспериментах CP2-01÷02 было время выдержки расплава нержавеющей стали на корке, сформированной на поверхности оксидно-металлического расплава.

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

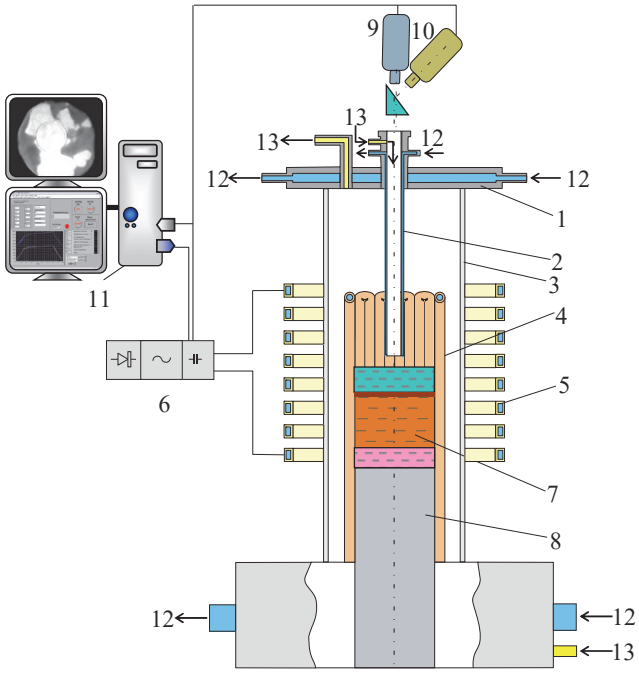


Рисунок 1 – Схема индукционной печи с холодным тиглем:

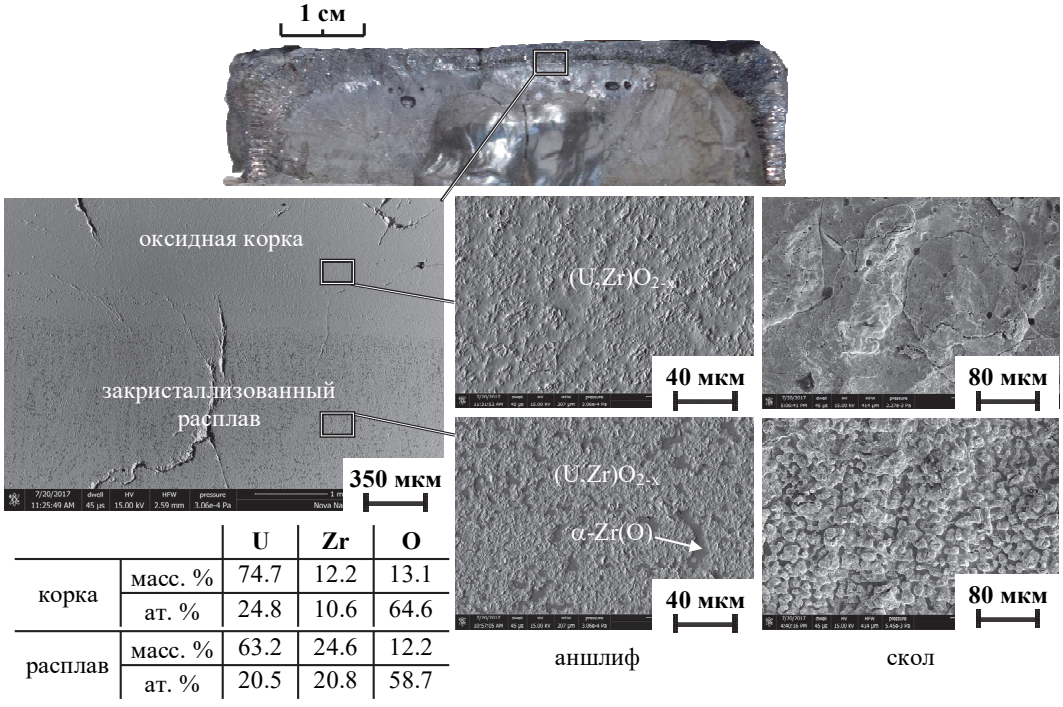
1 – водоохлаждаемая крышка; 2 – шахта наблюдения за поверхностью расплава; 3 – кварцевая обечайка; 4 – трубки секций «холодного» тигля; 5 – индуктор; 6 – высокочастотный генератор; 7 – ванна расплава; 8 – донный калориметр; 9 – пирометр; 10 – видеокамера; 11 – система управления и записи наблюдений;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

Перед проведением основных экспериментов по задаче CP2 был проведен претест для определения степени окисленности корки на субокисленном расплаве кориума (C-60) при ее окислении аргоно-кислородной смесью.

Состав загрузки тигля в опыте (PreCP2-01) представлял собой кориум с индексом окисленности C-60 и атомным соотношением U/Zr = 1,2. На стадии формирования ванны расплава и оксидной корки использовали сухой аргон высокой чистоты, а для окисления оксидной корки – Ar/O_2 смесь с содержанием кислорода 10 об. %. Время выдержки в режиме окисления составило 30 мин.

Вид исследованного аншлифа верхней части слитка и микроструктура оксидной корки и закристаллизованного расплава по данным SEM/EDX анализа, приведен на *рисунке 2*. Толщина оксидной корки варьируется от 2 мм в центральной части до 3 мм на периферии.

Оксидная корка имеет плотную структуру и состоит преимущественно из твердого раствора на основе $U(Zr)O_{2-x}$ (*рисунок 2*). Непосредственно под коркой расположен закристаллизованный субокисленный расплав кориума. Микроструктура и фазовый состав закристаллизованного оксидного расплава типичен для недоокисленного кориума: основная фаза – твёрдый раствор $U(Zr)O_{2-x}$ в качестве матричной фазы, в которой расположены зерна фазы на основе α-Zr(O).



		U	Zr	O
корка	масс. %	74.7	12.2	13.1
	ат. %	24.8	10.6	64.6
расплав	масс. %	63.2	24.6	12.2
	ат. %	20.5	20.8	58.7

Рисунок 2 – Микроструктура и элементный состав оксидной корки и оксидного расплава эксперимента PreCP2-01 по данным СЭМ/РСМА

Основные результаты эксперимента PreCP2-01

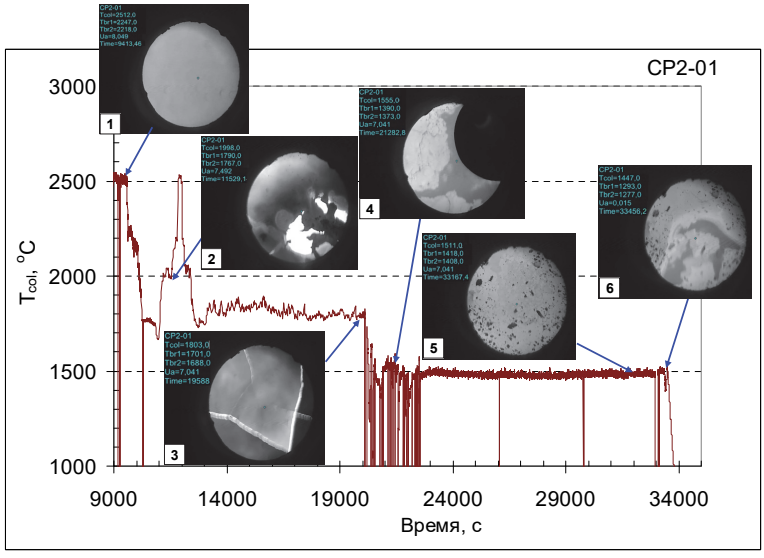
- корка на расплаве кориума не является существенным препятствием для окисления расплава под ней;
- степень окисленности корки на поверхности расплава кориума по результатам химического анализа составила С-70 при общей степени окисленности расплава С-65;
- для значительного увеличения степени окисленности корки в опытах по задаче CP2 время окисления корки было увеличено в четыре раза.

Состав загрузки тигля в опытах (CP2-01÷02) представлял собой кориум с индексом окисленности С-30 и атомным соотношением U/Zr = 1,2. Перед формированием оксидной корки на поверхности расплава в расплав вводили нержавеющую сталь в количестве 20% от массы оксидного кориума.

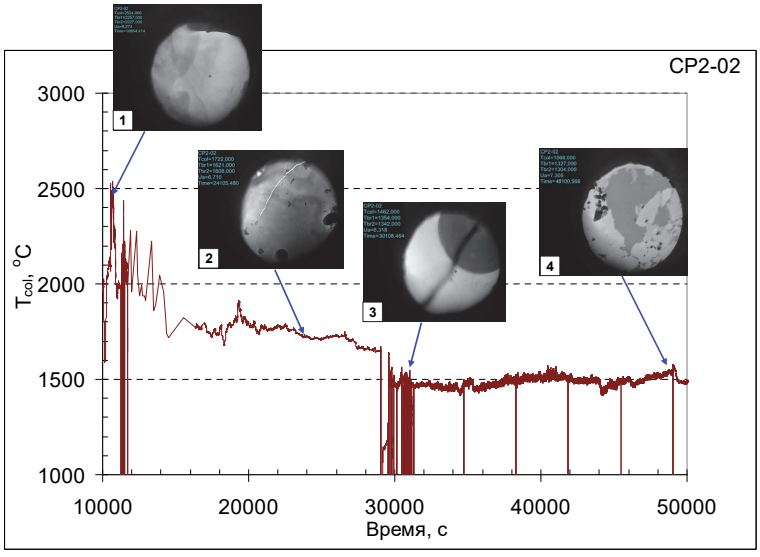
На стадии формирования ванны расплава и оксидной корки использовали сухой аргон высокой чистоты, а для окисления оксидной корки – Ar/O_2 смесь с содержанием кислорода 10 об. %. Для контроля состава газовой среды на входе и выходе из печи были установлены электрохимические датчики кислорода. Температуру расплава измеряли пирометром

спектрального отношения RAYTEK. После формирования ванны расплава кориума вводили первую порцию нержавеющей стали с отношением массы стали к массе оксидного кориума – 20 %, затем для достижения полного перераспределения компонентов между оксидной и металлической фазами осуществляли выдержку в течение 30 мин и далее формировали оксидную корку на поверхности расплава. Затем для окисления оксидной корки подали аргоно-кислородную смесь с содержанием O_2 5 об. %. На сформированную оксидную корку вводили оставшиеся 20 % нержавеющей стали и далее осуществляли экспозицию расплава стали на корке в течение 180 мин в опыте СР2-01 и 360 мин в опыте СР2-02. Перед отключением нагрева с помощью W-Re термопары измеряли температуру металлического расплава, которая составила приблизительно 1 622 °С в опыте СР2-01 и 1 644 °С в опыте СР2-02.

На *рисунке 3а, б* представлены фрагменты термограмм экспериментов СР2-01 и СР2-02.



а)



б)

Рисунок 3 – Фрагменты термограмм экспериментов а) СР2-01; б) СР2-01:

а) *1 – расплав перед формированием оксидной корки;*
2 – разрушение оксидной корки при подаче аргоно-кислородной смеси с содержанием кислорода 10 об. %;
3 – окончание формирования корки при подаче аргоно-кислородной смеси с содержанием кислорода 5 об. %;
4 – ввод металла на поверхность металлического расплава;
5 – вид корки на поверхности металлического расплава во время выдержки;
6 – поверхность расплава после трёхчасовой выдержки расплава металла на оксидной корке.

б) *1 – расплав перед формированием оксидной корки и ее окислением;*
2 – окисление корки;
3 – ввод металла на поверхность оксидной корки;
4 – вид поверхности металлического расплава после пятичасовой выдержки.

Осевые разрезы слитков после опытов представлены на *рисунке 4*. На разрезах 4*а* и 4*б* можно выделить несколько слоев металла, которые в процессе опыта находились в жидком состоянии: верхний металлический слой (лёгкий металл – ЛМ), расположенный над оксидной коркой и слои тяжёлого металла – с большим содержанием урана и циркония (ТМ1) и (ТМ2).

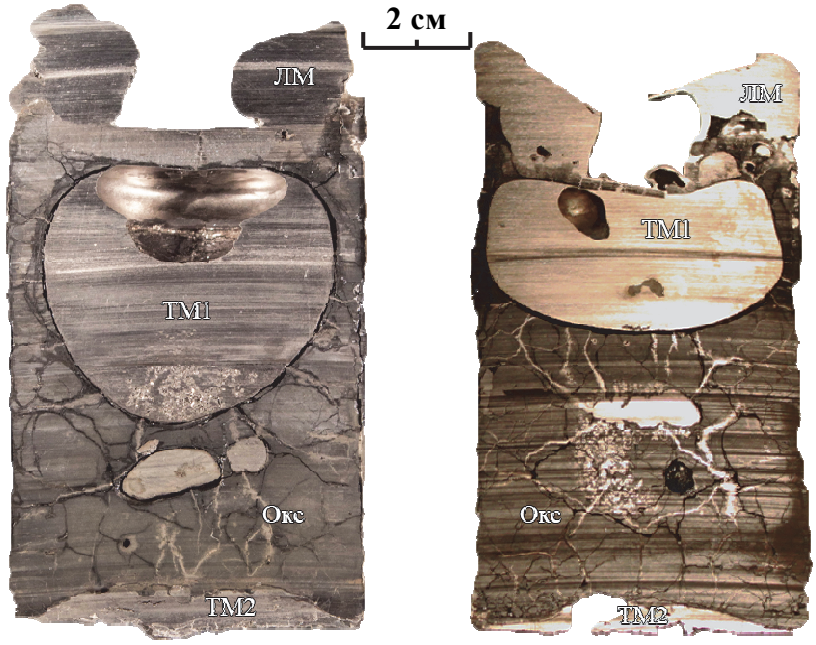


Рисунок 4 – Осевые сечения слитков:
а) СР2-01; б) СР2-02

ЛМ – лёгкий металл; ТМ1 и ТМ2 – тяжёлый металл; Окс – оксидная часть слитка.

После экспериментов различными методами (рентгенофлуоресцентный анализ, химический анализ, сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ) была выполнена идентификация фазового и интегрального состава характерных областей слитков и проанализирована их макро- и микроструктура.

Основные результаты

1. Трансформация трёхжидкостной структуры ванны расплава в двухжидкостную за относительно короткое время происходит только при сравнительно небольшой величине индекса окисленности (приблизительно до С-40). При большей величине индекса окисленности ванна расплава будет сохранять трёхжидкостную структуру с двумя поверхностными металлическими слоями, разделенными коркой значительное время. Нельзя исключить и возможность стабилизации трёхжидкостной структуры, однако экспериментальные данные свидетельствуют о продолжающемся переносе массы между сосуществующими жидкими фазами даже для максимальной из исследованных степенях окисленности (С-70). Кинетика трансформации ванны в значительной степени зависит от характеристик корки (температуры, толщины, состава, сплошности структуры), отделяющей поверхностный относительно холодный слой ЛМ от «горячей» оксидно-металлической ванны ТМ и Окс (в реакторных условиях ТМ остается «горячим» до всплытия и охлаждения).

С точки зрения удержания расплава в корпусе реактора наиболее опасными являются переходные процессы:

- поступления на поверхность ванны горячего расплава стали;
- всплытия ТМ, если по каким-то причинам на внутренней поверхности корпуса, с которой ТМ будет контактировать, оксидная корка не сохранится.

2. При наличии оксидной корки на поверхности расплава процесс окисления происходит в режиме голодания по окислителю, характеризующемся: а) отсутствием влияния на скорость поглощения кислорода содержания восстановителей в расплаве и гидродинамики расплава и б) влиянием на скорость окисления концентрации кислорода в газовой атмосфере над расплавом и гидродинамики газовой атмосферы. Экспериментальных данных для построения надёжных корреляций, связывающих скорость поглощения кислорода и со свойствами и параметрами оксидной корки на поверхности расплава, на данный момент недостаточно. Целесообразно проведение дополнительных опытов.

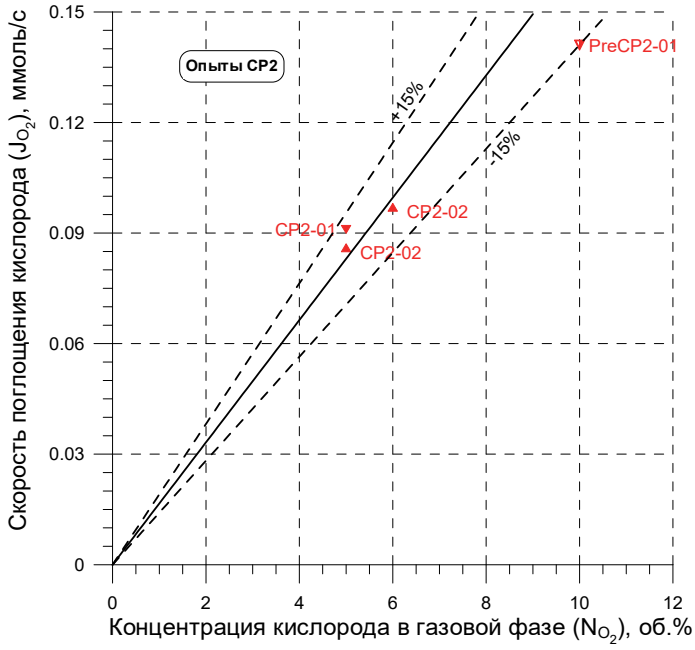


Рисунок 5

Зависимость скорости поглощения кислорода от его содержания в аргоно-кислородной смеси в экспериментах серии CP2

На *рисунке 5* приведена зависимость скорости поглощения кислорода от его содержания в подаваемой в печь газовой смеси. Зависимость эта близка к линейной, а точнее – к простой пропорциональной с погрешностью, не превышающей ±15 %:

$$J_{O_2} \approx 0{,}0166 N_{O_2}, \qquad (1)$$

где $J_{O_2} = \text{ммоль/с}, \left[N_{O_2}\right] = \text{об. \%}.$

3. Выявлены и обозначены три механизма переноса компонентов между ЛМ и оксидно-металлической ванной через оксидную корку:

- Транспорт металлических компонентов осуществляется по границам зерен оксидной корки. Этот процесс, по-видимому, является лимитирующим для системы. Можно предположить существование инкубационного периода, в течение которого в корке должны возникнуть перколяционные жидкофазные каналы. После этого скорость перераспределения компонентов между оксидно-металлической ванной под коркой и легким металлом над ней должна относительно резко возрасти. Увеличение индекса окисленности приводит к снижению вероятности возникновения перколяционного канала (в пределе до близкой к нулю для индекса окисленности С-100), а увеличение температуры, наоборот, к ускорению появления таких каналов.
- Второй важный механизм переноса компонентов – возникновение в корке микроскопических трещин. Это приводит к ускорению процесса обмена компонентами по сравнению с перколяционными каналами.
- Наконец, макроскопический разлом корки приводит к быстрому установлению равновесия между ЛМ и ТМ. Это – предельный случай с другой стороны. Различие в составе слоев при этом будет обусловлено только градиентом температуры и установившимся при этом химическим равновесием в термоградиентных условиях.

Полученные экспериментальные данные можно использовать для проведения моделирования процесса переноса компонентов между сосуществующими слоями а также для оценок кинетики трансформации трёхжидкостной структуры ванны расплава кориума в широких пределах варьирования его индекса окисленности.

Литература

1. Крушинов Е.В., Хабенский В.Б., Бешта С.В., Анискевич Ю.Н., Витоль С.А., Гусаров В.В., Альмяшев В.И., Грановский В.С., Сулацкий А.А.,. Котова С.Ю., Каляго Е.К. Фазовые равновесия в кориуме по результатам проектов MASCA, METCOR И CORPHAD // ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» 50 лет. Испытания и исследования ЯЭУ. Научно-технический сборник. СПб.: Литография, 2013. С. 291-310.

В работе принимали участие: С.Ю. Котова, Е.В. Шевченко, Е.К. Каляго, Е.М. Беляева, В.Г. Близнюк, В.Р. Булыгин, Б.О. Раба, М.М. Костин (ОХТИ).

7.2 Исследование особенностей существования трёхжидкостной структуры ванны субокисленного расплава кориума с тонким слоем лёгкого металла на поверхности корки

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.

В рамках проекта CORDEB2 по задаче 3 выполнен эксперимент СР3-01, целью которого являлось:

– исследование переходных процессов в трёхжидкостной ванне расплава кориума С-30 с атомным соотношением U/Zr = 1,2 и соотношением массы нержавеющей стали 12Х18Н10Т к массе оксидного кориума, равным 0,4, при времени экспозиции 60 мин.

Эксперимент 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*.

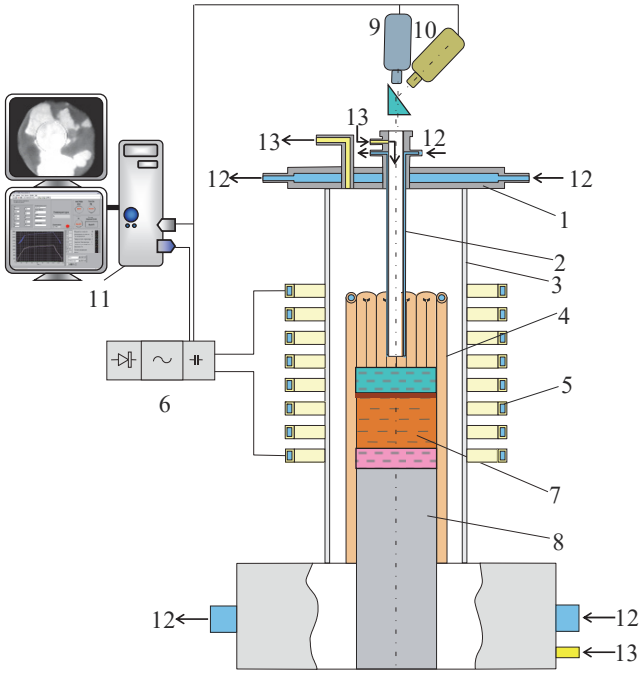


Рисунок 1 – Схема индукционной печи с холодным тиглем:

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 опыте СР3-01 представлял собой кориум с индексом окисленности С-30 и атомным соотношением U/Zr = 1,2, в расплав которого вводили нержавеющую сталь в количестве 40 % от массы оксидного кориума.

Эксперимент проводили в атмосфере сухого аргона. Для контроля состава газовой среды на входе и выходе из печи были установлены электрохимические датчики кислорода. Температуру расплава измеряли пирометром спектрального отношения RAYTEK. После наплавления расплава кориума вводили первую порцию нержавеющей стали с отношением массы стали к массе оксидного кориума – 30 %, затем для достижения полного перераспределения компонентов между оксидной и металлической фазами осуществляли выдержку в течении 30 мин и, далее, формировали оксидную корку на поверхности расплава, температура которой составила от 1 830 °С. На сформированную оксидную корку вводили оставшиеся 10 % нержавеющей стали и далее осуществляли экспозицию расплава стали на корке в течение 60 мин. На *рисунке 2* представлены фрагменты термограммы эксперимента СР3-01 и кадры поверхности расплава.

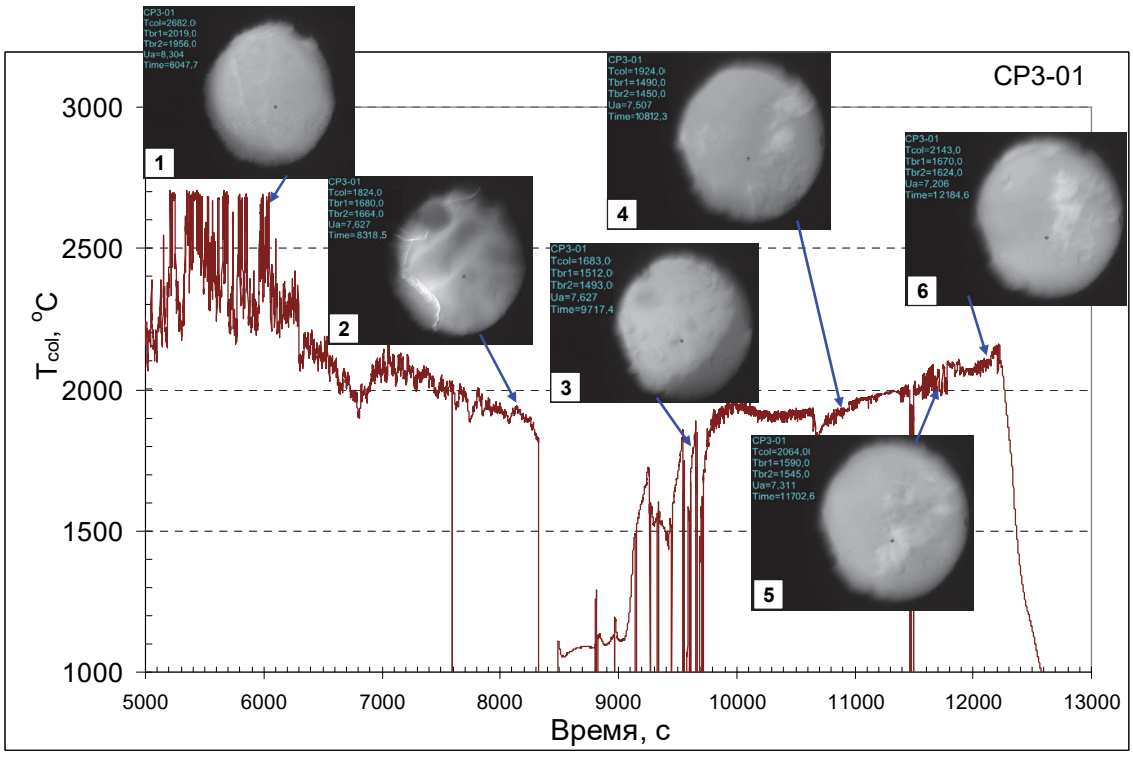


Рисунок 2 – Фрагмент термограммы эксперимента СР3-01:

1 – поверхность металлического расплава перед формированием корки на поверхности ванны расплава;

2 – формирование оксидной корки на поверхности металлического расплава;

3 – поверхность металлического расплава на корке (после плавления нержавеющей стали на оксидной корке);.

4–6 – поверхность металлического расплава во время его выдержки на оксидной корке.

Осевой разрез слитка после опыта представлен на *рисунке 3*. На разрезе можно выде-

лить несколько слоев металла, которые в процессе опыта находились в жидком состоянии: верхний металлический слой (лёгкий металл – ЛМ), расположенный над оксидной коркой и слои тяжелого металла – с большим содержанием урана и циркония (ТМ1) и (ТМ2).

Рисунок 3 – Осевое сечение слитка СР3-01:

ЛМ – лёгкий металл; ТМ1 и ТМ2 – тяжёлый металл; Окс – оксидная часть слитка.

Основные результаты

Сравнение результатов опытов CD1-01, CD1-02 и СР3-01, проведенных при одинаковой величине индекса окисленности С-30, но различающихся исходно меньшей массой и существенно более высокой температурой поверхностного слоя ЛМ в СР3-01. Анализ результатов экспериментов CD1-01 и CD1-02 [1] позволил предположить, что для условий этих опытов трёхжидкостная ванна стремится к двухжидкостной в процессе преимущественного перемещения под корку компонентов нержавеющей стали, что подтвердили результаты СР3-01, т.к. в этом опыте практически вся масса нержавеющей стали переместилась под корку *(рисунок 4)*.

Отсутствие промежуточных измерений глубины поверхностного слоя не позволяет судить о динамике трансформации ванны. Более быстрое по сравнению с CD1-01, CD1-02

перемещение компонентов нержавеющей стали под корку в опыте CP3-01 возможно объяснить уменьшением длительности инкубационного периода образования в корке сквозных каналов. Представляется, что в любом случае исходной причиной является существенно более высокая температура нержавеющей стали (а, следовательно, и корки) в CP3-01 по сравнению с CD1-01, CD1-02. Меньшая исходная масса нержавеющей стали в CP3-01, скорее всего, повлияла на длительность, но не на скорость перемещения компонентов нержавеющей стали под корку.

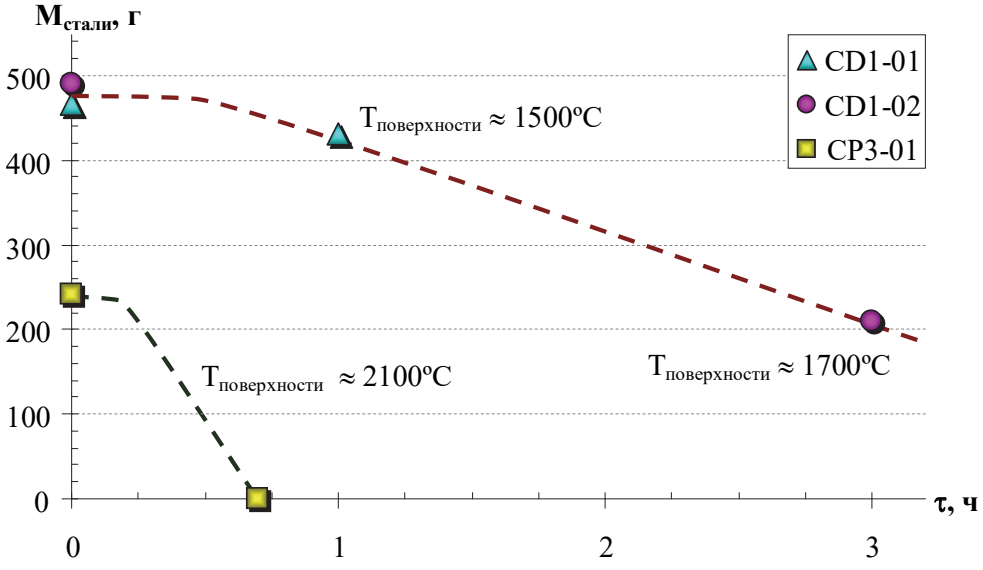


Рисунок 4 – Зависимость массы стали в легком металле от времени в экспериментах CD1-01, CD1-02 и CP3-01

Литература

1. Альмяшев В.И., Витоль С.А., Грановский В.С., Котова С.Ю., Крушинов Е.В., Сулацкий А.А., Хабенский В.Б., Гусаров В.В. Экспериментальное исследование переходных процессов в трёхжидкостной оксидно-металлической ванне расплава кориума // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок. 2016, №2 (4). С. 51-61.
2. Almjashev V.I., Granovsky V.S., Khabensky V.B., Kotova S.Yu., Krushinov E.V., Sulatsky A.A., Vitol S.A., Gusarov V.V, Fichot F., Michel B., Piluso P., Le Tellier R., Fischer M., Le Guennic C., Bakouta N. Experimental study of transient phenomena in the three-liquid oxidic-metallic corium pool // Nuclear Engineering and Design. 2018. V. 332. P. 31-37.

В работе принимали участие:

С.Ю. Котова, Е.В. Шевченко, Е.К. Каляго, Е.М. Беляева, В.Р. Булыгин, Б.О. Раба, М.М. Костин (ОХТИ).

7.3 Исследование распределения компонентов кориума, бетона подреакторной шахты и продуктов деления на внекорпусной стадии тяжёлой аварии

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

В проблеме тяжёлых аварий на АЭС с плавлением активной зоны реактора значительный интерес представляют исследования процессов последней стадии такой аварии, а именно – возможность локализации (удержания) кориума в бетонной шахте. На этой стадии, после разгерметизации корпуса реактора и падения расплава активной зоны на дно шахты реактора, происходит взаимодействие смеси расплавленных материалов активной зоны, внутрикорпусных устройств и части корпуса реактора (расплавленного кориума) с бетоном шахты реактора, которая является одновременно биологической защитой и опорной несущей конструкцией внутри герметичной оболочки. Для расчётного анализа последствий такого взаимодействия необходимо знать теплофизические, термодинамические и прочностные характеристики этого бетона. Влияние сценария деградации активной зоны сказывается на характеристиках расплава, прежде всего на времени формирования ванны, которое определяет уровень остаточного энерговыделения в расплаве, и на составе кориума, обуславливающего его физико-химические свойства.

Цель работы

Проведение экспериментальных исследований (эксперименты TOF-01, 02 и OF-02) процессов, происходящих при кристаллизации системы, содержащей металл-оксидный субокисленный кориум с высокой степенью окисленности, продукты деления, состав и концентрация которых в кориуме характерны для условий реактора ВВЭР-1000, компоненты бетона марки М500, используемого в проекте ВВЭР-1000 в качестве материала шахты реактора.

Эксперимент OF-04 был ориентирован на исследование распределения компонентов в системе «кориум – бетон», отвечающей составу VULCANO VBU7 , в процессе направленной кристаллизации расплава. Спецификация эксперимента отвечает условиям реакторов BWR на поздней стадии взаимодействия с бетоном.

В рамках данной работы проведена серия экспериментов, позволившая получить новую информацию о физико-химических особенностях системы «кориум – бетон» для двух случаев: реактора ВВЭР-1000 и реактора типа BWR (реактора АЭС Фукусима-Дайити).

Матрица проведенных экспериментов представлена в *таблице 1*.

В экспериментах TOF-01,02 и OF-02 использовали установку с высокочастотным генератором колебательной мощностью 120 кВт и частотой тока 120 кГц. В эксперименте OF-04 использовали установку с высокочастотным генератором колебательной мощностью 160 кВт и частотой тока 1,78 МГц.

Таблица 1

Матрица проведенных экспериментов

Тест	Состав	Индекс окисленности кориума	Атомное отношение U/Zr	Отношение массы субоксидного кориума к массе бетона	Атмосфера
TOF-01	UO_2; ZrO_2; Zr+ ПД (SrO, BaO, CeO_2, La_2O_3, Ru, Mo) +SS+ Бетон M500	70	1,2	12	Ar
TOF-02					
OF-02					
OF-04	UO_2; ZrO_2; Zr+компоненты бетона (CaO, SiO_2, FeO, MgO, Al_2O_3	100	0,7	1,458	Воздух

Приготовление расплава проводили методом индукционной плавки в холодном тигле [1]. Схема печи и ее внешний вид представлены на *рисунке 1*.

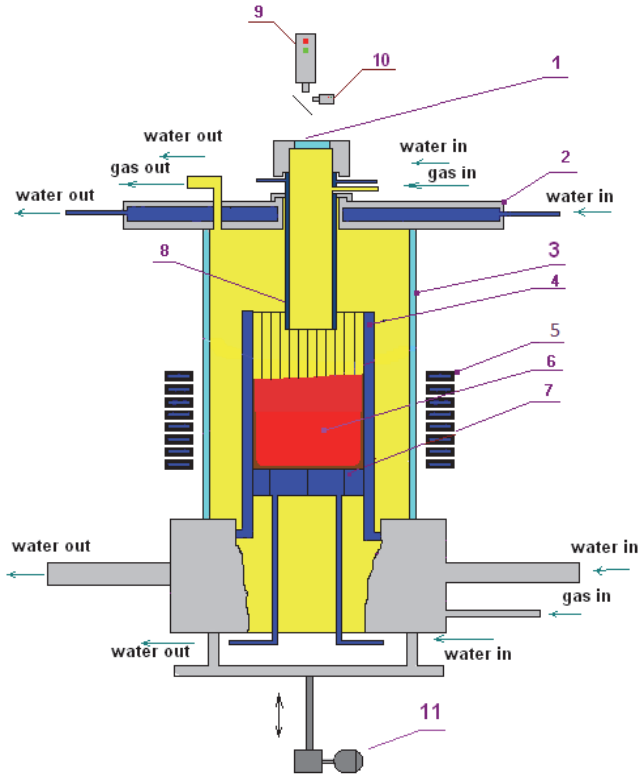


Рисунок 1 – Схема индукционной печи экспериментов TOF-01, 02 и OF-02, 04:

1 – кварцевое окно; 2 – водоохлаждаемая крышка печи; 3 – кварцевая обечайка; 4 – трубки секций тигля; 5 – индуктор; 6 – оксидно-металлический расплав кориума (TOF-01,02 и OF-02) или оксидный расплав кориума (OF-04); 7 – донный многосекционный водоохлаждаемый калориметр; 8 – шахта пирометра, порт для ввода стали в расплав; 9 – пирометр; 10 – видеокамера; 11 – устройство перемещения тигля.

На *рисунке 2* представлена схема системы подачи газа и сбора аэрозолей.

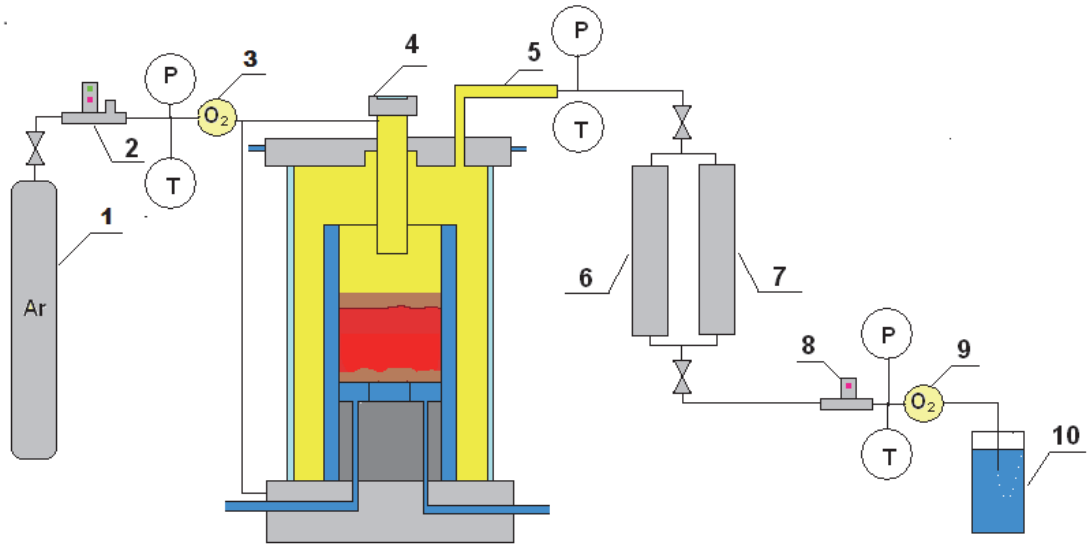


Рисунок 2 – Схема системы подачи газа и сбора аэрозолей в экспериментах TOF-01, 02 и OF-02:

1 – баллон с Ar; 2 – расходчик регулятор Бронхост; 3,9 – кислородомер Оксик; 4 – шахта пирометра, продуваемая Ar; 5 – аналитическая линия; 6,7 – аналитические фильтры средней площади (ФСП).; 8 – расходчик; 10 – гидрозатвор.

Для экспериментов TOF-01, 02 и OF-02 *(см. рисунок 2)* подачу газа осуществляли через донный коллектор тигля и шахту пирометра. Затем газ поднимался к крышке печи, и, захватывая аэрозоли, через боковое отверстие в крышке поступал в аналитическую линию. Шахта пирометра предназначена для непрерывного наблюдения за поверхностью расплава через слой аэрозолей и их периодической кратковременной сдувки с пятна визирования пирометра при измерении температуры поверхности расплава путём подачи в шахту части расхода газа-носителя. Кроме того, через шахту пирометра производили отбор проб расплава. Для измерения температуры и отбора проб шахту пирометра кратковременно опускали, обеспечивая сдувку аэрозолей струей аргона с расходом, оптимальная величина которого была определена в отдельных экспериментах.

Для эксперимента OF-04 *(см. рисунок 3)* подачу воздуха осуществляли через шахту пирометра. Затем воздух проходил через шахту пирометра, одновременно сдувая аэрозоли, и поднимался к крышке печи. Далее воздух захватывал аэрозоли и через боковое отверстие в крышке печи поступал в аналитическую линию. На хвосте аналитической линии были установлены вакуумные насосы с ресивером. Шахта предназначена для непрерывного наблюдения за поверхностью расплава через слой аэрозолей и досыпки шихты. Кроме того, через шахту пирометра производили отбор проб расплава.

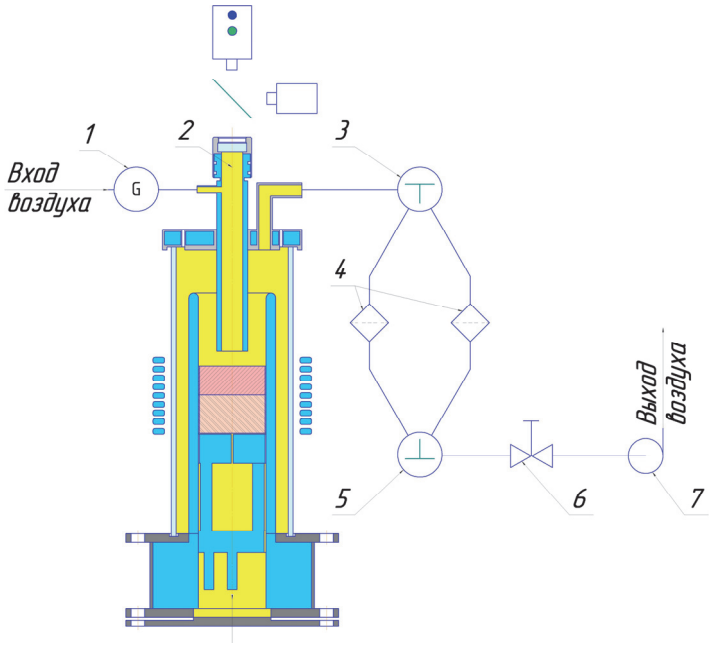


Рисунок 3 – Схема системы подачи газа и сбора аэрозолей в эксперименте OF-04:

1– ротаметр; 2 – шахта пирометра; 3,5– переключатели;
4 – аналитические фильтры большой площади (ФБП); 6 – регулирующий вентиль;
7 – форвакуумный насос.

Подготовка шихты включала в себя расчёт количества компонентов, входящих в состав шихты, анализ оксидов урана и циркония на содержание основного компонента в оксиде, а также на наличие примесей в них (в том числе определение нестехиометричности оксида урана), контроль влажности исходных оксидов, взвешивание расчётных количеств оксидов, составляющих шихту, с учётом металлического циркония. В порошке двуокиси урана термогравиметрическим методом было определено отношение кислорода к урану, которое составило 2,0.

Процедуры экспериментов

Процедуры экспериментов включали в себя следующие операции:

- загрузка тигля шихтой. Плавление шихты. Досыпка шихты;
- выдержка расплава в течение 10–20 минут отслеживая по датчику кислорода момент наступления равновесия расплава с газовой средой;
- отбор пробы расплава;
- измерение T_{liq} при экранировании поверхности расплава или снижении режима ВЧГ;
- вытяжка расплава из индуктора посредством перемещения тигля относительно индуктора со скоростью 10 мм/час в течение 5–7 часов;
- по возможности отбор проб расплава на промежуточных этапах выдержки и/или при изменении характера конвективного узора или появлении второй жидкости на поверхности расплава.

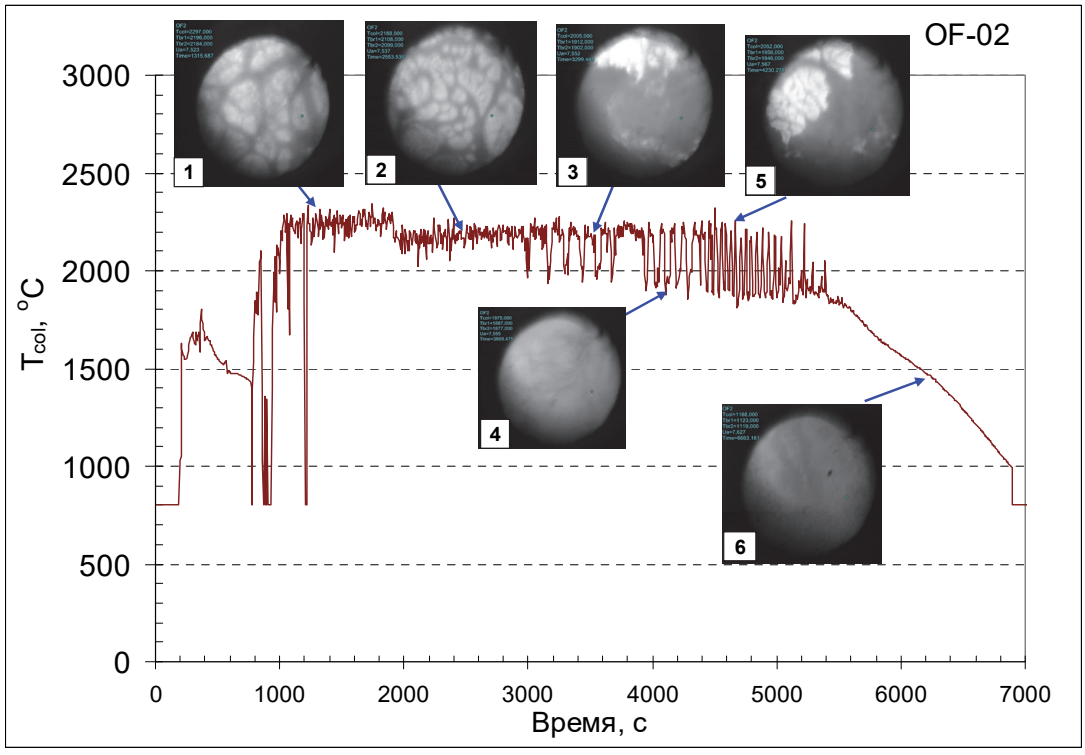


Рисунок 4 – Фрагмент термограммы эксперимента OF-02

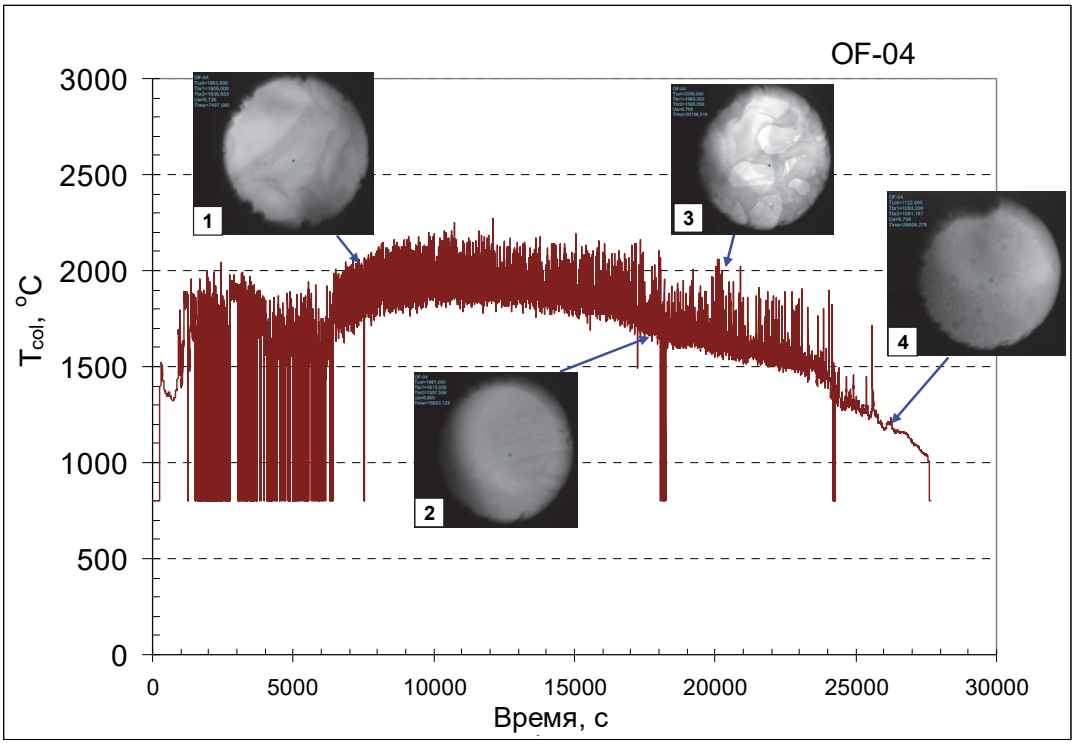


Рисунок 5 – Фрагмент термограммы эксперимента OF-04

После окончания экспериментов слитки извлекали из тигля, заливали эпоксидной смолой и делали осевые разрезы с целью подготовки шлифов для проведения СЭМ/РСМА анализа. Из металлического слитка вырезали пластину для проведения РСФА и СЭМ/РСМА анализа. Из продуктов плавки (аэрозоли, проба расплава, проба с зонда), а также верхней и нижней оксидных частей слитка, корки над расплавом подготавливали средние пробы для проведения физико-химического анализа. Фото экспериментальных слитков из проведенных экспериментов представлены *на рисунках 6 и 7.*

Вид оксидно-металлического слитка

Вид металлического слитка на калориметре

Вид аншлифов оксидной части слитка

Рисунок 6 – Вид оксидно-металлического слитка эксперимента OF-02 после извлечения из тигля и подготовки к пост-тест исследованиям

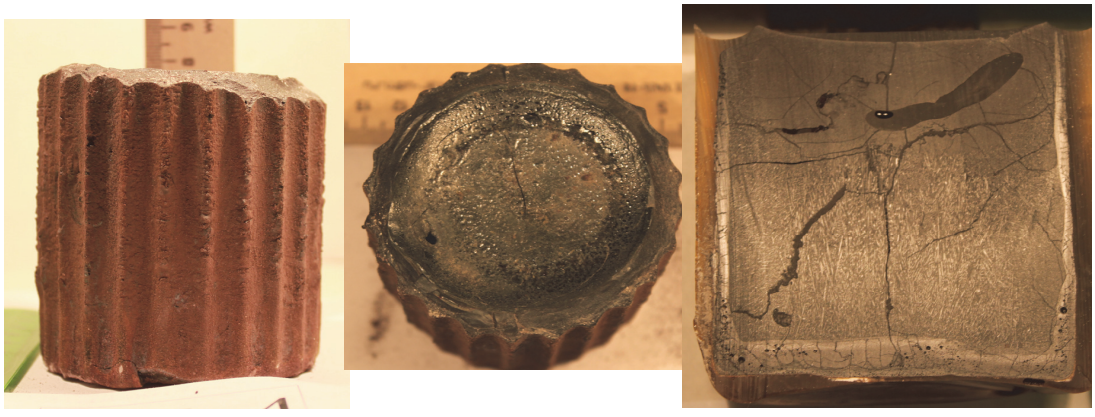


Рисунок 7 – Вид слитка эксперимента OF-04 после извлечения из тигля и подготовки к пост-тест исследованиям

После экспериментов 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.

Основные результаты

- Выполнена серия экспериментов по кристаллизации расплава системы «кориум – бетон – продукты деления», отвечающих условиям реакторов ВВЭР-1000 и BWR (АЭС Фукусима-Дайити).
- В эксперименте, ориентированном на условия ВВЭР-1000, обнаружено, что даже для относительно небольшой доли бетона, плотность оксидной составляющей расплава становится меньше плотности металлической составляющей. Этот эффект может благоприятно сказаться на удержании расплава в шахте реактора, так как скорость взаимодействия бетона с металлической составляющей существенно ниже, чем с оксидной. Кроме того, верхнее расположение оксидной части закристаллизованной массы, существенно упростит процесс ее утилизации. Следует отметить, что данный эффект наблюдается без наличия в расплаве лёгких компонентов (таких как бор и углерод), которые могут нивелировать обнаруженный эффект.
- Обнаружено также, что продукты деления распределяются между металлической и оксидной составляющими следующим образом: в металлическую составляющую переходят молибден и рутений, а в оксидной составляющей фиксируются остальные компоненты (лантан, церий, барий и стронций). При этом, в аэрозолях наличия продуктов деления не обнаружено. Также не наблюдается их и в закристаллизованном слое. Соответственно, в процессе кристаллизации расплава может происходить увеличение концентрации продуктов деления, что может негативно сказаться на процессе охлаждения расплава.
- В эксперименте, ориентированном на условия реакторов BWR, обнаружено расслаивание расплава на две оксидные фазы. При этом, в процессе вытяжки зона роста неоднородна и состоит из, по крайней мере, двух макроскопических слоев, в различной степени обогащенных кремнием и алюминием.
- Полученные экспериментальные данные можно использовать для проведения работ по обоснованию локализации расплава на внекорпусной стадии тяжёлой аварии и анализа послеаварийного состояния реакторов ВВЭР-1000 и BWR.

В работе принимали участие:

С.Ю. Котова, Е.К. Каляго, В.Р. Булыгин, Е.Б. Шуваева, Е.М. Беляева.

8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ И ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

8.1 Деятельность отдела радиационной безопасности

8.2 Испытание системы непрерывного аппаратурного технологического контроля герметичности парогенераторов в составе комплекса КМК

8.3 Отдел по ЧС

8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ И ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Отдел радиационной безопасности

8.1 Деятельность отдела радиационной безопасности

В.Г. Ильин

Отдел радиационной безопасности является научно-производственным подразделением института, выполняющим работы по радиационному контролю при создании, эксплуатации и выводе из эксплуатации ядерных энергетических установок (ЯЭУ), по научному сопровождению испытаний этих установок в соответствии с программами НИР, по поверке всех средств измерений ионизирующих излучений, а также участвует в работах по проектированию автоматизированных систем радиационного контроля для выводимых из эксплуатации стендов-прототипов института и для планируемых к размещению в институте новых стендов.

К задачам радиационного контроля относятся:

- аппаратурный технологический контроль состояния физических барьеров безопасности на всех ЯЭУ института;
- контроль радиационной обстановки на рабочих местах персонала и в помещениях, где находятся источники ионизирующих излучений;
- контроль радиоактивного загрязнения поверхностей помещений и оборудования, контроль нераспространения радиоактивного загрязнения, контроль средств индивидуальной защиты персонала;
- контроль и учёт радиоактивных отходов, образующихся в институте в процессе испытаний ЯЭУ;
- контроль воздушных выбросов и водных сбросов;
- контроль радиационной обстановки на территории института, а также в зоне наблюдения института;
- индивидуальный и групповой дозиметрический контроль персонала института.

К научному сопровождению испытаний на стендах ЯЭУ относится:

- исследование изменений радиационной обстановки в зависимости от энерговыработки;
- исследование массопереноса радиоактивных веществ в технологических контурах установок, а также в случае нарушения целостности этих контуров;
- испытание новых нештатных способов контроля состояния герметичности оболочек твэлов активных зон установок.

В задачи по поверке средств измерений входят работы по поверке всех средств измерений ионизирующих излучений:

- стационарных систем радиационного контроля;
- носимых дозиметров-радиометров оперативного контроля радиационной обстановки;
- переносных радиометров контроля радиоактивного загрязнения СИЗ и кожных покровов персонала;
- лабораторных приборов;
- комплексов индивидуального дозиметрического контроля;
- спектрометров.

Кроме того, персоналом ОРБ проводятся работы по техническому обслуживанию и ремонту выше перечисленных средств измерений радиационной обстановки, а также стационарных сигнальных установок контроля радиоактивного загрязнения СИЗ и кожных покровов персонала.

Персонал ОРБ также участвует в работах по проектированию автоматизированных систем радиационного контроля.

В ноябре 2017 года утверждён проект вывода из эксплуатации стенда КВ-2, составной частью которого является стационарная автоматизированная система радиационного контроля. Персонал отдела выдал исходные технические требования для этой системы, включая перечень мест размещения технических средств, диапазоны измерений, а также типы технических средств и средств измерений. В настоящее время оформляются закупки технических средств для системы радиационного контроля стенда КВ-2.

8.2 Испытание системы непрерывного аппаратурного технологического контроля герметичности парогенераторов в составе комплекса КМК

Саранча О.Н.

В 2017 году проведено опробование методов раннего обнаружения неплотности парогенераторов (ПГ) с использованием спектрометрических блоков детектирования.

Аппаратурный контроль осуществлялся с помощью следующих блоков детектирования комплекса КМК-1:

– объёмной бета-активности газов БДГБ-02, контролирующих газовоздушную смесь после агрегатов пробы пара (АПП) каждого ПГ (каналы КМК-1 № 1÷8);

– объёмной бета-активности газов БДГБ-02 и БДГБ-03, контролирующих выброс газовоздушной смеси из главного конденсатора (ГК) через блоки эжекторов (каналы КМК-1 № 58,59);

– мощности экспозиционной дозы БДМГ-33, контролирующих уровень гамма-излучения от сорбентов фильтров второго контура ФИ 1, ФИ 2 и ФИ 3 (каналы КМК-1, соответственно, № 16, 17, 20).

Блоки детектирования БДГБ-02 и БДГБ-03 осуществляют оперативный контроль состояния ПГ.

Блоки детектирования БДМГ-33 контролируют накопление долгоживущих радионуклидов в сорбенте фильтров за счёт как залповых, так и малых длительных поступлений их из первого контура.

Результаты контроля в течение проведения 12 цикла испытаний приведены в виде графика на *рисунке 1*.

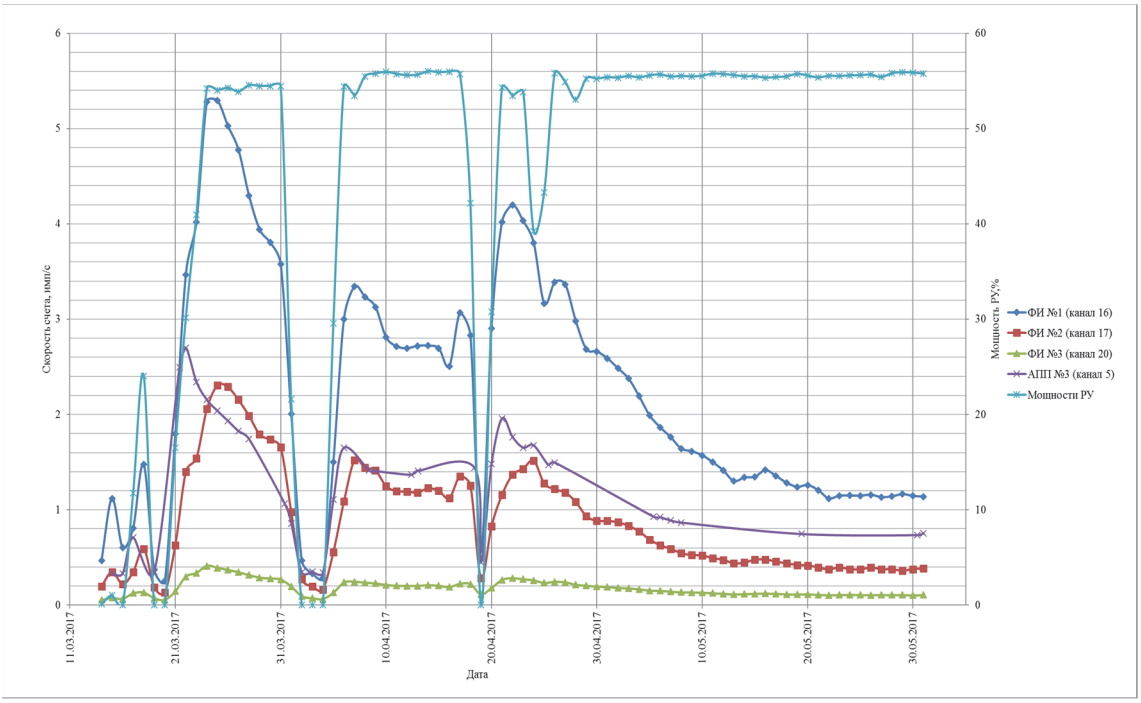


Рисунок 1 – Результаты контроля герметичности ПГ по каналам КМК-1 №№ 16, 17, 20, 5

Особо следует отметить, что при вводе в работу стенда ЯЭУ зафиксирован рост показаний блоков детектирования БДМГ-33 (каналы №№ 16 и 17), с выходом блока детектирования, установленного в фильтре второго контура ФИ-1 (канал № 16) на уровень выше начала диапазона измерений (1имп/с). Это свидетельствует о достоверной регистрации факта негерметичности парогенераторов. Результаты контроля приведены на *рисунке 2*.

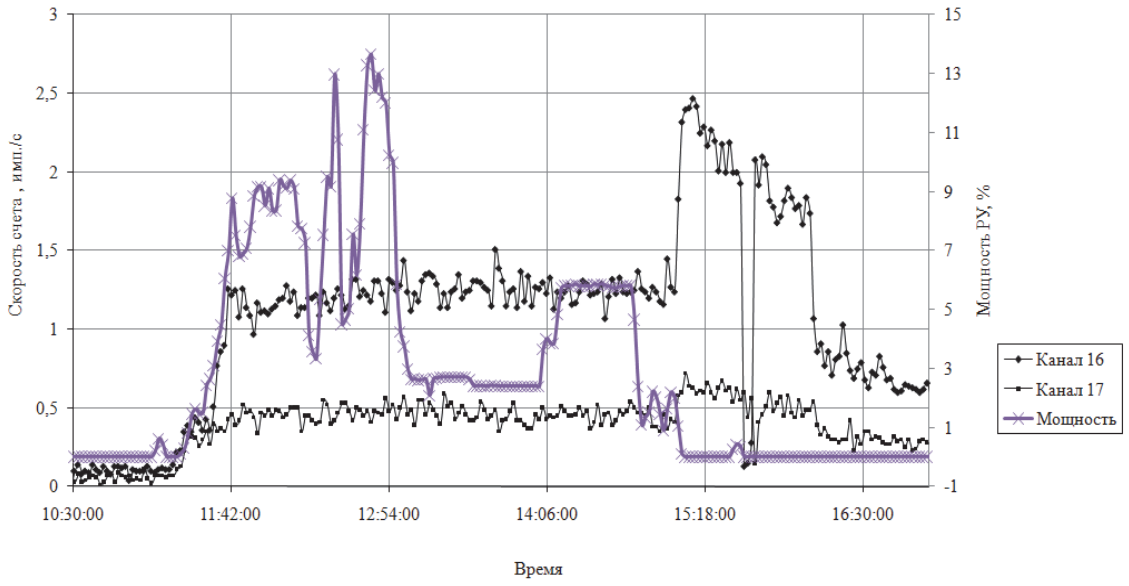


Рисунок 2 – Показания БДМГ-33, каналы №№ 16 и 17 при вводе РУ 14.03.2017

Для подтверждения установленного факта и определения негерметичного парогенератора был повторен ввод установки с раздельным подключением парогенераторов по питательной воде. Результаты контроля приведены на *рисунке 3*.

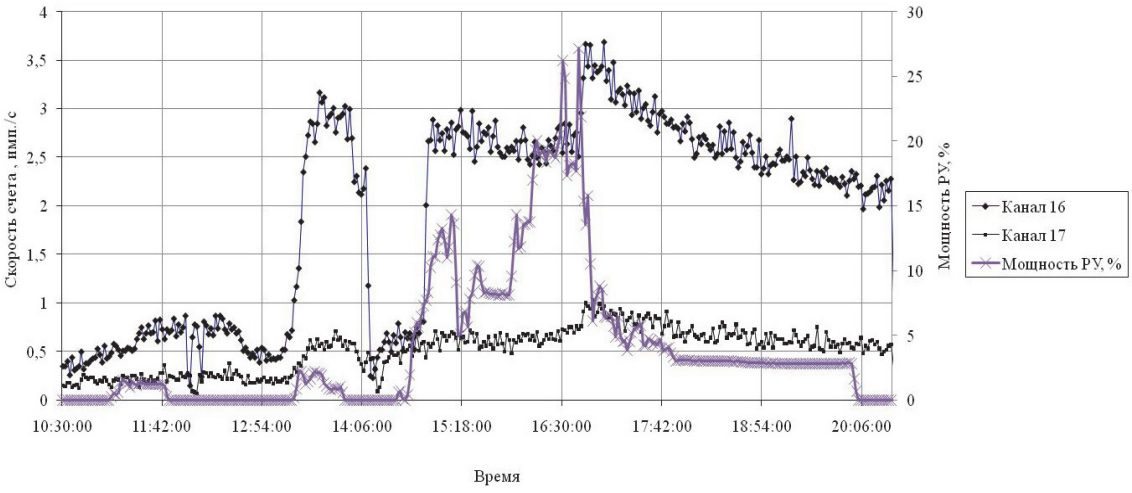


Рисунок 3 – Показания БДМГ-33, каналы №№ 16 и 17 при вводе РУ 15.03.2017

Анализ данных, приведённых на *рисунке 3*, с сопоставлением их с последовательностью подключения и отключения ПГ, свидетельствует, что показания блоков детектирования БДМГ-33, установленных в фильтрах второго контура:

– при подключении одного ПГ-4 (включён в 11:10) – не изменились;

– при подключении ПГ-1 с подключённым ПГ-4 (включён в 11:23, отключены оба в 11:45) – изменились не существенно и при этом не вышли на уровень диапазона измерений –1 имп/с;

– при подключении одного ПГ-3 (включён в 13:15) с отключёнными ПГ-1 и ПГ-4 показания блока детектирования БДМГ-33, установленного в фильтре второго контура ФИ-1 (канал № 16), выросли с 0,5 имп/с до 3,3 имп/с и вышли на уровень диапазона измерений.

При этом показания блока детектирования БДМГ-33, установленного в фильтре второго контура ФИ-2 (канал № 17) также увеличились, но не вышли на уровень диапазона измерения.

Для уточнения причин роста показаний блока детектирования БДМГ-33 15.03.2017 проводился (с 10:50) непрерывный контроль содержания радионуклидов в сорбенте ФИ-1 с использованием гамма-спектрометрического датчика высокого разрешения. Датчик был установлен снаружи фильтра в коллиматоре на уровне лобового слоя сорбента. Результаты анализа зарегистрированных гамма-спектров достоверно свидетельствуют о накоплении на фильтре радионуклидов: таких как I-131, I-132, I-133, I-134, I-135, Cs-138 и других продуктов деления U-235, содержащихся в теплоносителе первого контура.

Выше приведённые факты позволили достоверно установить, что зарегистрировано поступление теплоносителя первого контура во второй через негерметичный ПГ-3.

Об этом же свидетельствует то, что при вводе установки 17.03.2017, с выходом на режим с подключением агрегатов пробы пара (в 16:20), зарегистрирован рост показаний блока детектирования БДГБ-02 (канал № 5), контролирующий газо-воздушную смесь после АПП ПГ-3, в среднем, до 1,5 имп/с. При этом показания блоков детектирования БДГБ-02 после АПП ПГ-1 и ПГ-4 остались на фоновом уровне, а показания блока БДГБ-02, контролирующего объёмную активность газо-воздушной смеси выбросов блоков эжектирования ГК, выросли с фоновых значений порядка 0,25 имп/с до 0,6 имп/с, но не вышли на уровень диапазона измерений. Результаты контроля приведены на *рисунке 4*.

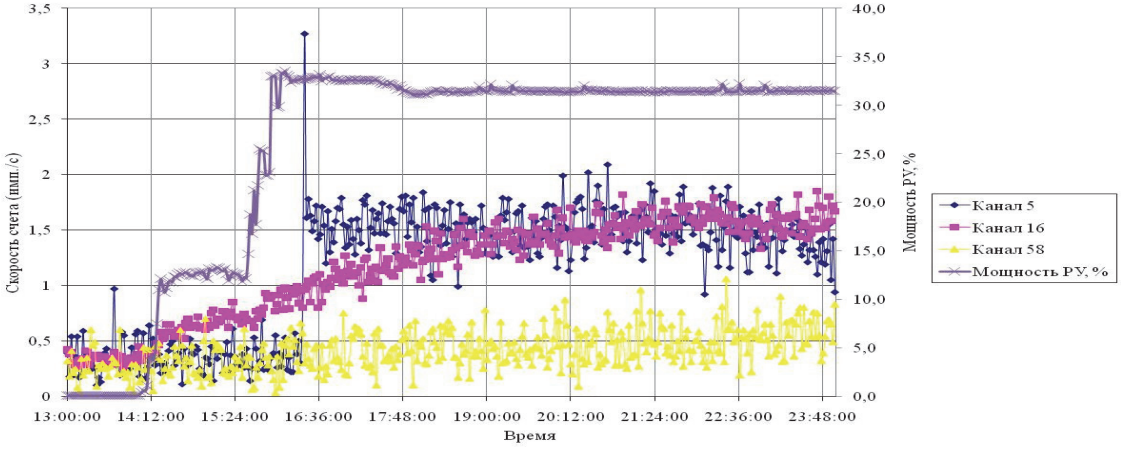


Рисунок 4 – Показания блоков детектирования по каналам КМК-1 №№ 5, 16, 58 при вводе РУ 17.03.2017

Для определения радионуклидного состава газо-воздушной смеси после АПП ПГ-3 на выходном патрубке, за блоком детектирования БДГБ-02 (канал №5), была подключена проточная ёмкость в виде камеры Маринелли, объёмом 8,0 л, в которой был установлен и откалиброван гамма-спектрометрический датчик высокого разрешения. Результаты анализа зарегистрированных гамма-спектров достоверно свидетельствуют о наличии в газо-воздушной смеси после АПП ПГ-3 газообразных радионуклидов Kr-85m, Kr-87, Kr-88, Xe-133, Xe-135 и других, содержащихся в теплоносителе первого контура продуктов деления U-235.

Для оценки скорости поступления теплоносителя первого контура во второй были проведены совмещённые измерения радионуклидного состава газо-воздушной смеси после АПП ПГ-3 и теплоносителя первого контура на байпасной линии до БОиР-2. Активности радионуклидов в теплоносителе первого контура и в газо-воздушной смеси после АПП ПГ-3, а также оценочные значения скорости поступления теплоносителя первого контура во второй приведены в *таблице 1*.

Таблица 1

Результаты измерений активности радионуклидов в теплоносителе первого контура и в газо-воздушной смеси после АПП ПГ-3, оценочные значения скорости поступление теплоносителя первого контура во второй

№ п/п	Нуклид	Удельная активность 1 к (60%), Бк/кг	Объёмная активность АПП, Бк/л	Поступление первого контура во второй, кг/ч	Удельная активность 1 к (60%), Бк/кг	Объёмная активность АПП, Бк/л	Поступление первого контура во второй, кг/ч
		14.04.2017			26.05.2017		
1	Kr-87	3,80E+06	4,73E+00	0,27	4,03E+06	1,83E+00	0,10
2	Kr-88	6,23E+06	5,02E+00	0,18	7,07E+06	1,35E+00	0,04
3	Kr-89	3,58E+06	2,76E+00	0,17	3,26E+06	8,25E-01	0,06
4	Kr-85m	1,87E+06	1,13E+00	0,13	1,76E+06	5,21E-01	0,07
5	Xe-135	1,15E+07	1,25E+01	0,24	1,09E+07	3,60E+00	0,07
6	Xe-137	5,47E+06	6,76E+00	0,27	5,63E+06	2,42E+00	0,09
7	Xe-138	1,05E+07	1,01E+01	0,21	1,02E+07	3,00E+00	0,06
Сред-нее		–		0,21	–		0,07

Оценочные значения скорости поступления теплоносителя первого контура во второй рассчитывались по соотношению:

$$g_{I-II} = \frac{a^i_{\text{АПП}} \cdot g_{\text{в}} \cdot G_{\text{ПГ}}}{a^i_{\text{I}} \cdot g_{\text{АПП}}}, \text{ кг/ч},$$

где: $a^i_{\text{АПП}}$ – объёмная активность i-ого радионуклида в газо-воздушной среде за АПП, Бк/л;

a^i_{I} – удельная активность i-ого радионуклида в теплоносителе первого контура, Бк/кг;

$g_{\text{в}}$ – расход воздуха за АПП, л/ч;

$g_{\text{АПП}}$ – расход пара, отбираемого на АПП, кг/ч;

$G_{\text{ПГ}}$ – расход питательной воды через ПГ, кг/ч.

С учётом значений расходных параметров соотношение приобретает вид:

$$g_{I-II} = \frac{a^i_{\text{АПП}} \cdot 2{,}2 \cdot 10^5}{a^i_{\text{I}}}, \text{ кг/ч}$$

Из графиков, приведённых на *рисунке 1*, видно, что поступление теплоносителя первого контура во второй носит залповый характер при вводе РУ, а при длительных стационарных режимах работы уменьшается, по оценкам, с 300 г/ч, в пересчёте на начало 12 цикла испытаний, до 70 г/ч на конец цикла. Это также подтверждается периодическими измерениями содержания радионуклидов в сорбенте фильтра ФИ-1, включая короткоживущие, которые свидетельствуют о текущем поступлении теплоносителя первого контура во второй. Динамика изменения активности основных короткоживущих радионуклидов в сорбенте ФИ 1 приведена на *рисунках 5 и 6*.

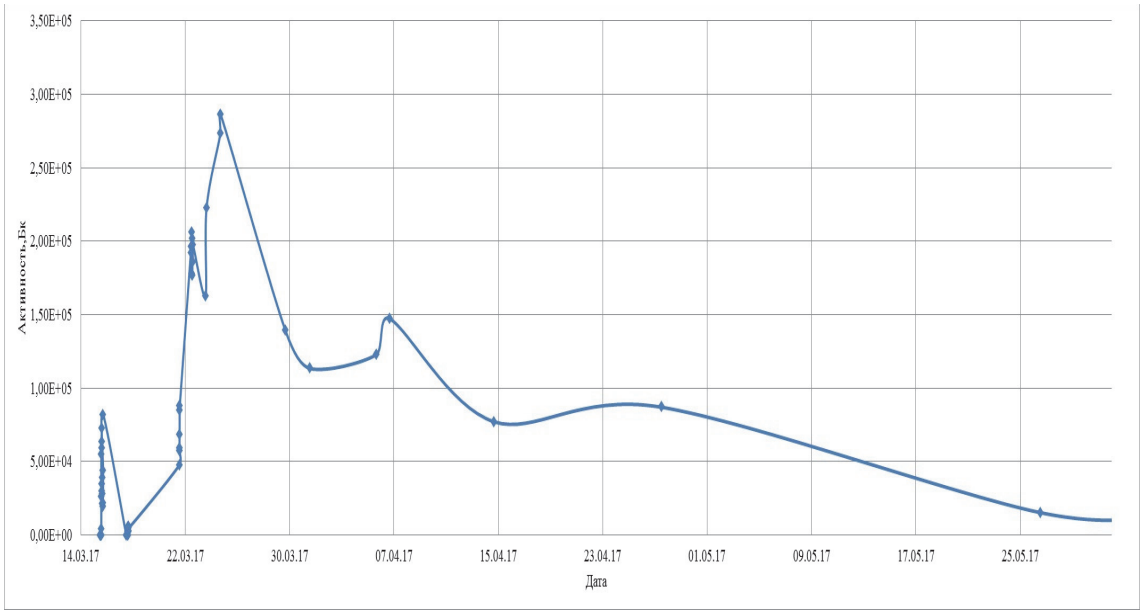


Рисунок 5 – Результаты измерения содержания радионуклида I-134 в сорбенте фильтра ФИ-1

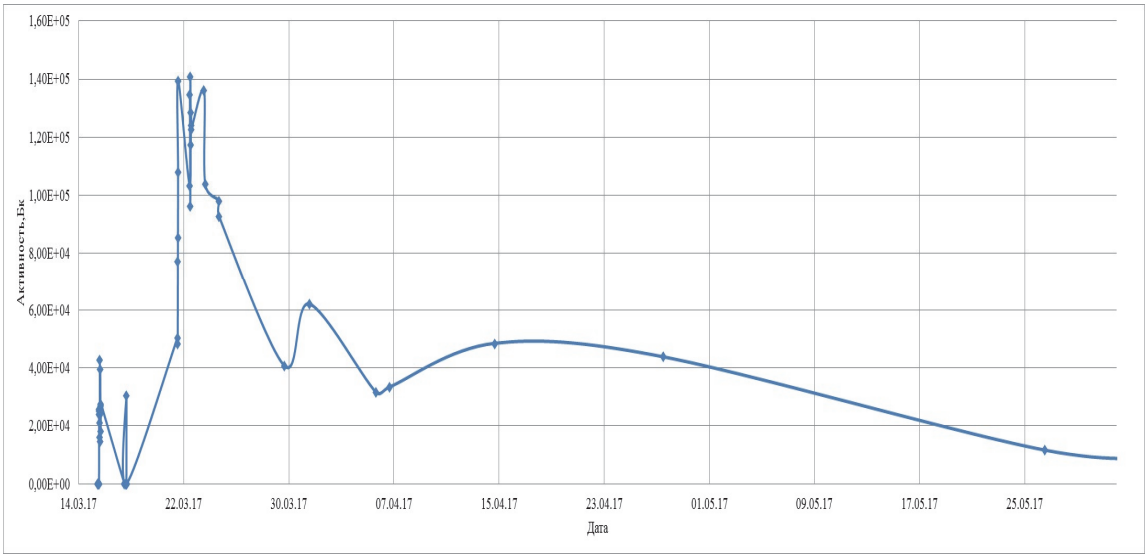


Рисунок 6 – Результаты измерения содержания радионуклида Cs-138 в сорбенте фильтра ФИ-1

При этом изменение содержания радионуклидов в воздухе помещений стенда ЯЭУ в течение рассматриваемого периода не зафиксировано. Мощность амбиентной дозы на поверхности фильтров второго контура не превышала 0,7 мкЗв/ч, что существенно ниже контрольного уровня для этих помещений – 4,5 мкЗв/ч. Это дало основание сделать заключение, что радиационная обстановка в помещениях стенда при зарегистрированной негерметичности ПГ не препятствует продолжению испытаний на стенде ЯЭУ.

Анализ данных, полученных по всем штатным блокам детектирования, осуществляющим радиационный технологический контроль герметичности парогенераторов, в период проведения испытаний с отсечённым ПГ-3 свидетельствует, что их показания не превышали нижнего уровня диапазона измерений (1 имп/с) и, следовательно, нарушение герметичности оставшихся в работе ПГ-1 и ПГ-4 не зарегистрировано. Результаты контроля плотности ПГ по каналам КМК-1 приведены в виде графиков на *рисунке 7*.

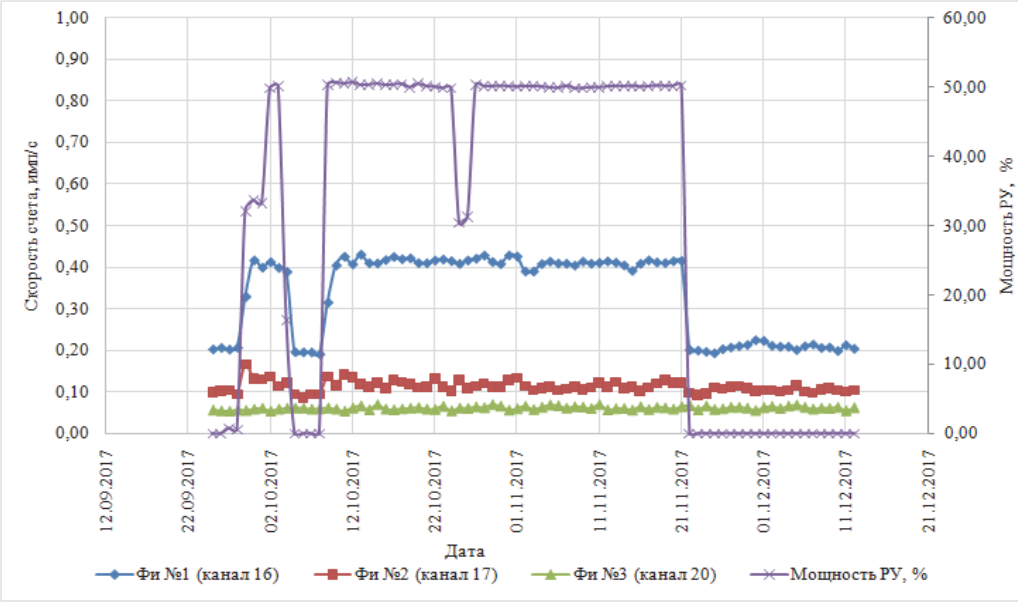


Рисунок 7 – Результаты контроля плотности ПГ по каналам КМК-1 № 16, 17, 20

При этом значения результатов периодических измерений чувствительным блоком детектирования мощности амбиентной дозы гамма-излучения БДПГ-96 дозиметра-радиометра ДКС-96 в гильзах фильтров очистки второго контура в этот период испытаний так же менялись мало, а полученные перед вводом и после останова РУ полностью совпали. Эти данные, полученные на порядок более чувствительным методом контроля плотности парогенераторов, подтверждают результат штатных средств АТК.

Одновременные спектрометрические измерения переносным портативным гамма-спектрометром GEM 30P4-83 на поверхности ФО второго контура ФИ №1 и ФИ №2 установили, что активность сорбента определяется содержанием в нём только радионуклида Cs-137. При этом короткоживущие продукты деления (I-132÷I-135, Cs-138 и другие) не регистрировались, что достоверно свидетельствует об отсутствии поступления теплоносителя первого контура во второй в отчётный период, а содержание радионуклида Cs-137 в сорбенте объясняется поступлением его во второй контур, в основном, в период проведения 12 цикла испытаний через негерметичный ПГ-3.

Комплекс этих данных свидетельствует, что в пределах чувствительности штатных и нештатных методов контроля плотности парогенераторов нарушение герметичности оставшихся в работе парогенераторов ПГ-1 и ПГ-4 в период проведения цикла испытаний не выявлено. Результаты контроля и испытаний приведены в отчётных документах.

Исполнители работ: Гавриловец А.Ю., Корнев Ю.К, Митенков А.Л., Червяков Р.В.

8.3 Отдел по ЧС

С.А. Шестопалов

Главной задачей в области гражданской обороны в 2017 году было повышение уровня теоретических знаний, совершенствование практических навыков и умений сотрудников института, направленных на реализацию единой государственной политики в области ГО.

Реализация поставленной задачи осуществлялась путём подготовки органов управления, персонала НАСФ и НФГО для защиты сотрудников и объектов института от ЧС природного и техногенного характера, совершенствованием системы защиты и устойчивого функционирования объектов института в мирное и военное время.

Основные направления работы Отдела по ЧС в 2017 году:

в области гражданской обороны:

- обеспечение органов управления и сил ГО современной отечественной техникой, экипировкой и медицинским оборудованием, с учётом внедрения новых приёмов проведения аварийно-спасательных работ;
- учёт, содержание и использование средств защиты сотрудников института, обеспечение постоянной готовности убежищ ГО;
- создание резервов финансовых и материально-технических ресурсов института для ликвидации ЧС;
- поддержание в готовности системы оповещения персонала института;
- внедрение современных методик подготовки и обучения сотрудников института в области ГО с использованием компьютерных технологий, актуализация нормативной правовой и методической базы;
- повышение качества и эффективности командно-штабных учений и тренировок (далее – КШУ (ШТ)) по ГО, а также тактико-специальных учений (далее – ТСУ) с органами управления и силами ГО;

в области защиты сотрудников и территории от ЧС:

- подготовка руководителей к принятию решений при угрозе и (или) возникновении ЧС, эффективное управление силами и средствами, оказание помощи пострадавшим;
- отработка взаимодействия с отделом гражданской защиты администрации Сосновоборского городского округа;
- обеспечение радиационной и ядерной безопасности;
- развитие комплексной системы экстренного оповещения персонала предприятия об угрозе возникновения или о возникновении ЧС;

в области обеспечения пожарной безопасности:

- осуществление мероприятий по недопущению пожаров в институте, использование технических средств профилактики пожаров и пожаротушения;

- контроль за пожарной безопасностью объектов нового строительства и бытовых городков строителей;
- проведение комплексных учений по отработке вопросов ликвидации ЧС связанных с природными пожарами, защите предприятия от лесных пожаров;
- совершенствование нормативно-правовой базы института по вопросам пожарной безопасности;

в области безопасности сотрудников на водных объектах:

- контроль за безопасностью людей при выполнении работ на водных объектах;
- повышение эффективности профилактических мероприятий по предупреждению несчастных случаев с людьми на водных объектах;

в области обеспечения единой информационной политики:

- формирование и совершенствование культуры безопасности персонала предприятия при производственном процессе и во время ЧС, пожаров и других оперативных событий;
- совершенствование форм и методов информационного обеспечения деятельности в области ГО, предупреждения и ликвидации ЧС, пожаров, пожарной безопасности и безопасности персонала предприятий на водных объектах, использование возможностей электронных средств массовой информации, наружной рекламы;

в области эффективного развития системы РСЧС в НИТИ:

- обеспечение правильного выбора приоритетов при финансировании и проведении мероприятий по ликвидации ЧС, применение комплексного подхода в подготовке сил к действиям в мирное и военное время;
- совершенствование взаимодействия Отдела по ЧС и группы надзора за пожарной безопасностью ООТиТБ института, в интересах противопожарной готовности института, совершенствуя старые и внедряя новые формы и методы подготовки и контроля.

Основные мероприятия, проведённые в 2017 году по вопросам ГО

Основным мероприятием подготовки по вопросам ГО, предупреждения и ликвидации ЧС и противопожарной безопасности в 2017 году следует считать комплексное учение на тему: «Действия руководства, формирований и персонала института при радиационной аварии и пожаре в условиях террористической угрозы», проведённое на территории института в период с 17 по 19 мая 2017 года.

В ходе КУ проверено и практически отработано взаимодействие дежурно-диспетчерской службы с руководителями подразделений и комиссией по ЧСиПБ:

- проведено оповещение и сбор КЧСиПБ;
- продолжена подготовка руководителей структурных подразделений института по защите персонала и обеспечению безопасности действующего оборудования стендов при возникновении ЧС;

- закреплены знания и навыки персонала по действиям в условиях ЧС, отработаны действия персонала по сигналам оповещения;
- развёрнут сборный эвакопункт, выполнена подготовка ОЭК и личного состава СЭП № 6 к проведению эвакуации;
- проработано информационное взаимодействие с ФГУП «АТЦ Минатома России» г. Санкт-Петербург к ведению аварийно-спасательных работ на промплощадке института.

Сбор комиссии по ЧСиПБ в кабинете главного инженера института

Работа комиссии по ЧСиПБ на пункте управления здания 108А

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

Дозиметрический контроль после выполнения учебной задачи сотрудниками НАСФ «САБ» в рамках комплексного учения

Строевой смотр нештатных формирований гражданской обороны

Работа подвижного пункта питания

Ликвидация условного пожара на кровле здания сотрудниками СПСЧ № 3 в рамках комплексного учения

Развертывание сборного эвакопункта № 6 и подготовка к проведению эвакуации населения

Работа сотрудников сборного эвакопункта № 6

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.

Соревнования звеньев добровольной пожарной дружины по пожарно-прикладному виду спорта

Этап – преодоление горящего мостика

Этап – тушение горящей жидкости

Награждение победителей

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.

В соответствии с поручением Правительства РФ от 12.04.2017 года и приказом МЧС России от 11.08.2017 года № 339 «О мероприятиях по подготовке и проведению штабной тренировки по гражданской обороне» в период 4 по 6 октября 2017 года службы института приняли участие в штабной тренировке. Тема тренировки: «Организация выполнения мероприятий ГО в условиях возникновения крупномасштабных ЧС природного и техногенного характера на территории РФ».

Основными целями учебной тренировки являлись:

- проверка готовности органов управления и сил ГО всех уровней к практическим действиям по ликвидации ЧС природного и техногенного характера;
- совершенствование практических навыков должностных лиц ГО по организации выполнения мероприятий ГО. Управление силами ГО при ликвидации крупномасштабных ЧС природного и техногенного характера;
- проверка реальности показателей планов действий по предупреждению и ликвидации ЧС, планов ГО по защите населения в ходе планирования аварийно-спасательных и других неотложных работ;
- проверка функциональной готовности повседневных и запасных пунктов управления сил ГО к выполнению задач по предназначению.

Данная штабная тренировка показала готовность сотрудников института (ДДС, руководство) к быстрому и чёткому реагированию на изменения обстановки. Цели и задачи учений и тренировок достигнуты.

В декабре 2017 года убежище ГО института по результатам «Смотра-конкурса на лучшее защитное сооружение гражданской обороны Ленинградской области» заняло первое место. Письмо ГУ МЧС России по ЛО от 24.11.2017 № 10043-3-4-1.

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ
ПО ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

ПОЧЕТНАЯ ГРАМОТА
награждается

ФГУП «Научно-исследовательский технологический институт им. А.П. Александрова»
г. Сосновый Бор

за I место

в смотре-конкурсе «Лучшее содержание защитных сооружений гражданской обороны расположенных на территории Ленинградской области в 2017 году» в группе – убежища вместимостью до 600 человек

Начальник Главного управления
МЧС России по Ленинградской области
генерал-майор внутренней службы Е.Г. Дейнека

2017 год

Размещение сотрудников института в убежище

Звено по обслуживанию убежища. Дизель-генераторная установка ДГМА 48-1

В течении 2017 года было проведено 25 плановых проверок готовности сменного и дежурно-диспетчерского персонала к действиям в ЧС различного характера, в том числе и в нерабочее время. Систематический анализ результатов проводимых проверок свидетельствует о позитивном влиянии проверок на уровень готовности персонала к действиям в ЧС в условиях опасной и чрезвычайно опасной радиационной обстановки.

Противопожарная охрана института

В 2017 году во ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» пожаров не произошло.

Работа по противопожарной охране института проводилась согласно плану мероприятий по обеспечению пожарной безопасности института на 2017 год. Профилактика пожаров была обеспечена комплексом мероприятий, проводимых в подразделениях института группой надзора за пожарной безопасностью института и Отделом по ЧС, совместно с инспекторским составом СПСЧ № 3.

Наибольшее внимание в 2017 году уделялось контролю за пожарной безопасностью объектов нового строительства и бытовым городкам подрядных организаций.

03 ноября 2017 года проведено тренировочное пожарно-тактическое учение по тушению условного пожара на кровле здания КМС. Учение проходило под руководством заместителя начальника ФГКУ «Специальное управление ФПС № 50 МЧС России». Участвовали сотрудники СПСЧ № 3, 72 ПСЧ, 77 ПСЧ, СПСЧ № 7, СО № 1.

Подготовка нештатных формирований

При подготовке нештатных формирований в 2017 году, основное внимание уделялось практической отработке нормативов и выполнению конкретных задач.

Личный состав НФГО «Санитарная дружина» и «Санитарный пост» прошли курс профессиональной подготовки. В ходе общегородских соревнований «Санитарная дружина» ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» завоевала первое место.

Этап – оказание медицинской помощи пострадавшему

Этап – сдача устного зачёта

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).

Центральная отраслевая комиссия Госкорпорации «Росатом» по аттестации аварийно-спасательных служб, аварийно-спасательных формирований и спасателей

СВИДЕТЕЛЬСТВО
ОБ АТТЕСТАЦИИ НА ПРАВО ВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Серия № 10999

« 28 » сентября 2017 г. Регистрационный № 1-107-060

Наименование аварийно-спасательной службы, аварийно-спасательного формирования: Специальная аварийная бригада ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»

Статус аварийно-спасательной службы, аварийно-спасательного формирования: нештатное

Виды аварийно-спасательных работ: Работы по ликвидации последствий радиационных аварий

Учредители аварийно-спасательной службы, аварийно-спасательного формирования: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»

Адрес: Ленинградская область, г. Сосновый Бор

Основание: решение Центральной отраслевой комиссии Госкорпорации «Росатом» по аттестации АСС, АСФ и спасателей, протокол от 28.09.2017 № 3

Действительно до: 28 сентября 2020 г.

Председатель аттестационной комиссии Е.Н. Глухих

Секретарь аттестационной комиссии С.К. Шлеев

ЦОАК №1

Техника, оборудование, инструмент, снаряжение и имущество нештатного формирования «Специальная аварийная бригада» соответствуют требуемому табелю оснащения.

Нештатное аварийно-спасательное формирование «Специальная аварийная бригада» ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»

Подготовка персонала

Обучение персонала института по предотвращению ЧС была организована в соответствии с требованиями ФЗ «О гражданской обороне» и «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», постановлений Правительства РФ и приказов Госкорпорации «Росатом».

Основные задачи в системе подготовки персонала института, следующие:

- накопление теоретических знаний по защите персонала в ЧС природного и техногенного характера;
- отработка практических навыков и умений по действиям в ЧС различного характера;
- изучение теории и совершенствование практических навыков в оказании первой помощи при травмах и повреждениях.

Подготовка персонала организуется руководителями структурных подразделений института. В 2017 году было создано 95 учебных групп для подготовки персонала, не входящего в НФГО и НАСФ, общей численностью 2072 человека. Для непосредственного проведения учебных мероприятий приказом института назначены руководители групп подготовки. 30 руководителей групп занятий прошли в 2017 году подготовку в объёме 24 часов в учебно-методическом центре ГО, ЧС и ПБ Ленинградской области» в городе Сосновый Бор и получили соответствующие удостоверения.

В 2017 году обучение руководящего состава проводилось в группе подготовки под руководством генерального директора института в соответствии с утверждёнными планами.

Готовность персонала института к действиям в условиях ЧС мирного и военного времени оценена как «готов к выполнению поставленных задач».

Оперативный автомобиль НАСФ

Основные задачи на 2018 год:

- продолжить совершенствование системы управления противоаварийными действиями при возникновении ЧС в условиях угрозы совершения террористического акта;
- поддерживать в готовности к использованию резервы финансовых и материальных ресурсов для ликвидации ЧС;
- проводить радио занятия и радиобеседы по действиям сотрудников при возникновении ЧС;
- проводить профилактические мероприятия по подготовке территории и объектов института к весенне-летнему и осенне-зимнему пожароопасным периодам;
- продолжить занятия с добровольными противопожарными формированиями в рамках повышения их боеготовности;
- активизировать работу по противопожарной пропаганде и обучению сотрудников института мерам пожарной безопасности;
- обеспечивать противопожарную готовность персонала структурных подразделений путём проведения Отделом по ЧС совместно с группой надзора за ПБ регулярных контрольных тренировок и практических занятий;
- продолжить работы по созданию локальной системы оповещения (ЛСО), обеспечить сопряжение ЛСО с региональной автоматизированной системой центрального оповещения РАСЦО ЛО и КСЭОН г. Сосновый Бор;
- создать концепцию развития объектовой системы мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (ОСМИС);
- при подготовке личного состава НАСФ «Специальная аварийная бригада», качественно организовывать и проводить учения (тренировки) на реальных объектах или полигонах с выполнением необходимых для института задач;
- продолжить освоение новой загородной зоны института и района рассредоточения при возникновении тяжёлой радиационной аварии на ЛАЭС;
- создавать обстановку, максимально приближенную к реальным условиям при возникновении ЧС, при проведении тактико-специальных учений, тренировок;
- продолжить совершенствование готовности ОД и ДДС в целом, как одного из основных элементов обеспечения безопасности института.

9. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

9.1 Валидация блочного щита управления энергоблока №3 Тяньваньской АЭС

9.2 Режимные и информационные видеокадры ЛАЭС-2

9.3 Комплекс программно-технических средств автоматического контроля и управления модуля аварийного и поставарийного отбора водных сред для энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР

9. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Основные объёмы работ по направлению «Создание комплексных систем управления» выполнялись отделом главного конструктора автоматизированных систем управления технологическими процессами (ОГК АСУТП). В работах участвовали специалисты отдела химико-технологических исследований (ОХТИ), отдела радиационной безопасности (ОРБ), отдела теплофизических исследований (ОТФИ), отделения динамических исследований (ОДИ), конструкторского отдела (КО).

В 2017 году завершена разработка функциональной части проекта человеко-машинных интерфейсов для персонала блочных и общестанционных пунктов управления Ленинградской АЭС–2. Особое внимание при этом было уделено развитию встроенных средств информационной поддержки персонала: обобщенных видеокадров, режимных видеокадров и видеокадров представления параметров безопасности, а также оптимизации резервных панелей управления, размещаемых на блочном пункте управления.

Проведен комплекс работ, связанных с верификацией и валидацией блочного щита управления энергоблока №3 Тяньваньской АЭС. По требованию Инозаказчика (JNPC) работы, впервые для российских проектов АЭС, выполнялись в соответствии с требованиями нормативного документа NUREG-0711 rev.3. Результаты выполненных анализов, проверок и испытаний позволили успешно пройти рассмотрение в надзорном органе КНР соответствующих глав Окончательного отчета по обоснованию безопасности АЭС и, в конечном счете, получить разрешение на загрузку ядерного топлива и выполнение пусковых операций энергоблока № 3.

Завершена разработка комплекса средств автоматического контроля и управления (АКУ) для опытного образца модуля аварийного и поставарийного отбора водных сред энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР (АППО). Комплекс АКУ обеспечивает решение технологических задач модулем АППО в режимах непрерывного, пошагового и ручного исполнения. Комплекс прошёл все испытания в составе модуля АППО, в том числе при работе с исходными пробами низких параметров (температура – 20 °С и давление – 0,1 МПа) и высоких параметров (температура – 270 °С и давление – 16 МПа).

Из других важных работ необходимо отметить участие сотрудников ОГК АСУТП:

– в разработке концепции автоматизации технологических процессов АЭС «Пакш II»;

- в выполнении комплекса работ по анализу и обоснованию учёта человеческого фактора при проектировании АЭС «Ханхикиви-1»;
- в доработке проекта человеко-машинных интерфейсов блочных пунктов управления Белорусской АЭС – заданий на видеокадры автоматизированных рабочих мест операторов, на резервные панели управления (в связи с изменениями технологической части проекта).

9.1 Валидация блочного щита управления энергоблока №3 Тяньваньской АЭС

Кудицкий Ю.Н., Григорьев М.С., Батанина С.В., Михалицын В.Г.

В 2017 году заказчиком энергоблоков №3, 4 Тяньваньской АЭС в КНР *(JNPC) была организована* и проведена на площадке АЭС валидация блочного и резервного щита управления (БЩУ и РЩУ*)* с соблюдением требований международных нормативных документов (НД) *[1,2,6,8]*. Специалисты ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», как основного разработчика плана, методики и вспомогательных отчетов по верификации и валидации, *и* специалисты АО «АТОМПРОЕКТ», как разработчики проекта АЭС, приняли участие в данных испытаниях в качестве консультантов.

Валидация была проведена с выполнением полного объёма требований международных НД к составу документов (отчетов) и методике проведения впервые в практике создания АЭС по российским проектам.

Для НИТИ разработка документов и участие в процессе валидации БЩУ, *Р*ЩУ, а также участие в представлении материалов надзорному органу КНР *(NNSA),* ответственному за регулирование в области ядерной безопасности, представляли интерес с точки зрения получения уникального опыта об учёте полного состава требований НД *и* для дальнейшего использования в разработке подобных документов для других проектов АЭС.

Общие сведения о верификации и валидации БЩУ, РЩУ

Одним из элементов процесса создания БЩУ, *РЩУ* в соответствии с требованиями НД *[1,2]* является проверка реализации функций, которая включает*:*

- **предварительную верификацию проекта БЩУ** по окончании рабочего проектирования перед запуском процесса изготовления компонентов человеко-машинного интерфейса (панелей/видеокадров*);*
- **верификацию проекта пунктов управления АЭС** *(**1 этап*** перед началом операций по загрузке топлива и выводу энергоблока на минимально контролируемый уровень мощности*, **2 этап –*** после пуска АЭС*);*
- **валидацию БЩУ** в процессе пуско-наладочных работ перед началом операций по загрузке топлива и выводу энергоблока на минимально контролируемый уровень мощности.

Предварительная верификация предназначена для проверки возможностей и характеристик БЩУ в части полноты выполнения всех задач по контролю и управлению техноло-

гическими процессами энергоблока, реализации всех задач безопасности АЭС, находящимися в зоне ответственности оперативного персонала, а также для анализа обеспечивающих задач (инструкции, подготовка персонала, организация управления). Верификация выполняется посредством анализа проектных решений по всем задачам, определенным в Функциональном анализе АЭС и реализованным в человеко-машинном интерфейсе (ЧМИ) на БЩУ и РЩУ. Проверки предусматривают «проигрывание» персоналом АЭС и проектировщиками заранее выбранных сценариев развития технологических процессов режимов нормальной эксплуатации (НЭ), нарушений нормальных условий эксплуатации (ННУЭ), аварий с контролем оценочных критериев успешности выполнения задач. Проверки выполняются на моделях БЩУ, РЩУ, при наличии возможности – на полномасштабном тренажере (ПМТ). Пример фрагмента алгоритма сценария представлен *на рисунке 1*.

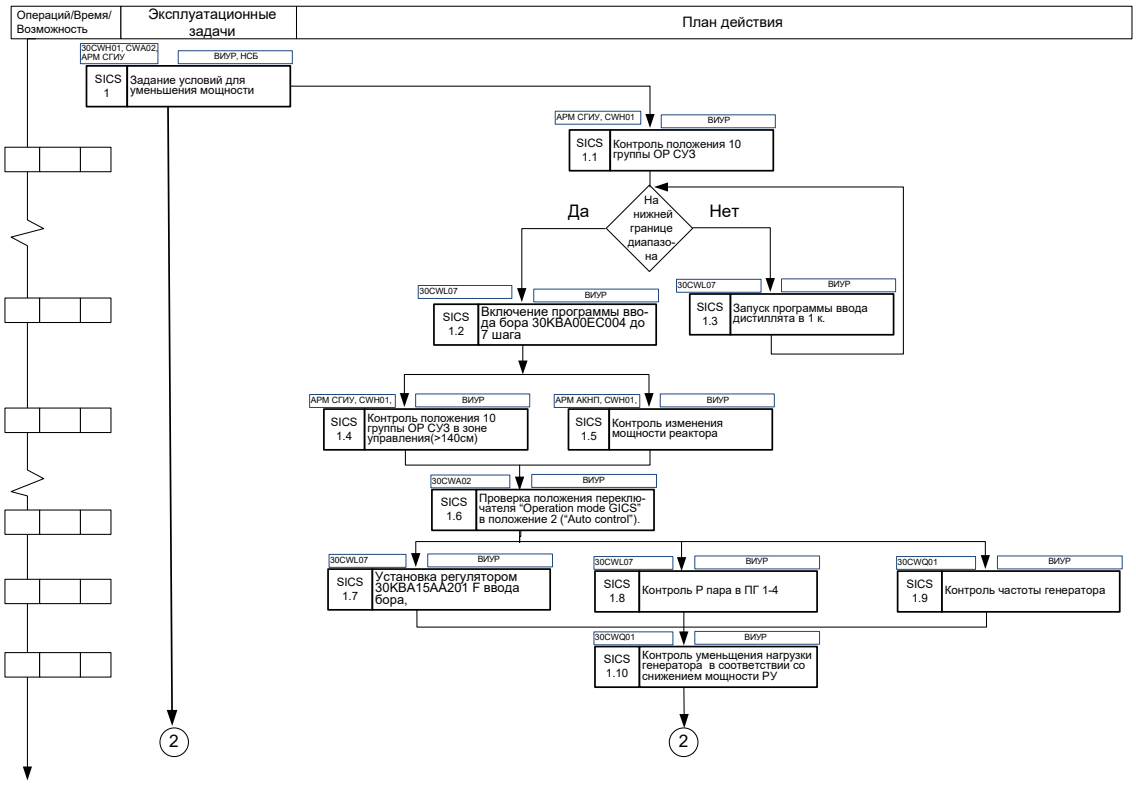


Рисунок 1– Пример алгоритма сценария

Верификация проекта пунктов управления АЭС предназначена для проверки выполнения заявленных в проекте функций и их достаточности для реализации персоналом пунктов управления всех технологических задач АЭС, обеспечению безопасности во всех состояниях АЭС, *а также для определения того, отвечает ли* проект заявленным критериям обеспечения эффективности управления и безопасности АЭС.

По результатам верификации проекта АЭС формируется решение по началу эксплуатации АЭС (загрузка топлива и начало пуска).

Валидация БЩУ предназначена для проверки выполнения заявленных в проекте функций БЩУ и их достаточности для реализации оперативным персоналом БЩУ контроля и управления технологическими процессами энергоблока, обеспечения безопасности во

всех состояниях АЭС, а также для определения того, отвечает ли качество реализации БЩУ и характеристики его функционирования уровню, требуемому для решения задач эксплуатации и безопасности АЭС. *При этом* под БЩУ понимается совокупность всех его компонентов: ЧМИ, состав и квалификация персонала, инструкции по эксплуатации, аварийные инструкции, условия окружающей среды..

Проверки предусматривают «проигрывание» на БЩУ, РЩУ и полномасштабном тренажере персоналом АЭС заранее выбранных сценариев развития технологических процессов режимов нормальной эксплуатации (НЭ), нарушений нормальных условий эксплуатации (ННУЭ), аварий с контролем оценочных критериев успешности выполнения задач. Проектировщики участвуют в проверках в качестве консультантов.

Сценарии охватывали события и действия оперативного персонала. *В процессе выполнения действий по сценариям* участниками проверок (рабочей группы) выполнялся анализ задействованного оборудования БЩУ, *анализ рисков (*согласно разработанным заранее критериям риска), анализ времени, затрачиваемого персоналом на выполнение операций.

В процессе верификации составляются отчетные таблицы с результатами проверок, включающие:

1. Оценку соответствия действий оператора инструкциям и сценарию.
2. Оценку полноты выполнения операций и качество инструкций.
3. Замечания по выполнению оператором операций по следующим аспектам*:*
    - уверенность использования ЧМИ и органов управления;
    - достаточность сигнализации;
    - организация ЧМИ и необходимость изменения расположения элементов на средствах ЧМИ*;*
    - необходимость дополнительного информационного обеспечения и поддержки;
    - качество подготовки персонала (знания и навыки) для выполнения инструкций и сценария
4. Время выполнения (и его достаточность).
5. Нагрузку на оператора (высокая, средняя, низкая).
6. Завершенность прогона по сценарию (полностью выполнен, сценарий прерывался с указанием причины, не выполнен с указанием причины).

По результатам валидации БЩУ и проигрывания сценариев составлялся отчет по заранее составленной форме, согласованной с Надзорным органом.

По результатам валидации проект БЩУ утверждается.

Методика валидации БЩУ

Процесс валидации включает **4 этапа**:

1. Формирование группы независимых экспертов (не принимающих непосредственное участие в проекте АЭС) и группы консультантов (из числа разработчиков или людей хорошо знакомых с проектом), формирование методик и кри-

териев проверок и анализа, создание и утверждение перечня *и* форм отчетов.

2. Анализ проекта БЩУ на площадке АЭС.
3. Анализ действий сменного персонала БЩУ по решению задач эксплуатации АЭС.
4. Составление отчетных документов по согласованным формам.

В качестве исходных данных для валидации на **первом этапе** используются*:*

- функциональный анализ БЩУ*;*
- схемы компоновок БЩУ и РЩУ*;*
- функциональные планы (алгоритмы автоматизации)*;*
- полный комплект видеокадров (для АРМ оперативного персонала, спецсистем, пункта водоподготовки, блочного щита радиационного контроля, инженера СКУ);
- комплект инструкций и процедур по управлению (включая эксплуатационные процедуры, аварийные процедуры, программы подготовки персонала и т.п.);
- ОООБ (частично).

В качестве исходных данных для валидации специалистами НИТИ был разработан (с последующим согласованием с Инозаказчиком и *NNSA)* комплект документов в составе:

- методика верификации и валидации БЩУ;
- критерии анализа ЧМИ и средств поддержки решения задач на БЩУ*;*
- сценарии (схемы анализа последовательных действий оперативного персонала БЩУ на ПМТ в различных состояниях и режимах эксплуатации АЭС*);*
- отчетные рабочие таблицы проверок (с указанием критериев проверок).

Второй этап включал в себя работу на БЩУ и в учебно-тренировочном центре (УТЦ).

На БЩУ выполнялся анализ:

- ЧМИ на обеспечение выполнения всех технологических задач согласно определения их в описаниях технологических систем, инструкций по эксплуатации, задачам АЭС, определенных в ОООБ и в Функциональном анализе БЩУ ТАЭС-3,4;
- комплектации *и* организации использования архива оперативной документации на БЩУ, пунктах управления;
- административных инструкций, определяющих организацию управления технологическим процессом и обеспечение безопасности;
- функциональных обязанностей оперативного и сменного персонала пунктов управления;
- организации смены (передачи) смен;
- оперативной документации при эксплуатации в условиях нормальной эксплуатации (НЭ)*;*
- оперативной документации при эксплуатации в условиях нарушения условий НЭ (ННУЭ)*;*
- отчетов за смену, за сутки.

В УТЦ выполнялись проверки по следующим направлениям:

- организация первичной подготовки персонала в объёме:
    - организации и критериев подбора сменного персонала;
    - критериев подбора и подготовки инструкторского персонала с учётом особенности проекта энергоблоков № 3, 4;
    - выполненных программ первичной теоретической подготовки сменного оперативного персонала АЭС в части получения необходимых знаний, определенных обязанностями;
    - учебных целей теоретических занятий для сменного персонала АЭС;
    - программ получения навыков управления в части выполнения операций по кругу ответственности;
    - целей и содержания практических занятий;
    - планов теоретических занятий на учёт соответствия знаний технологическим задачам, которые определены в проекте;
    - организации внесения изменений в планы занятий, в программы и в содержание занятий с учётом изменений в инструкциях по управлению технологическим процессом;
    - критериев оценки результатов первоначальной подготовки сменного персонала;
- организация периодической подготовки персонала в объёме:
    - программ теоретической периодической подготовки персонала;
    - методики определения знаний и умений перед периодической подготовкой (входной контроль знаний и умений);
    - типового плана теоретической подготовки сменного персонала;
    - формирования плана теоретических занятий сменного персонала с учётом входного контроля;
    - планов практической периодической подготовки сменного персонала;
    - определения целей подготовки и определения итогов практического занятия;
    - критериев достижения цели занятия;
    - достижения целей программы периодической практической подготовки.

Для выполнения работ на **третьем этапе** был использован полномасштабный тренажер (ПМТ) в составе АРМ и панелей, аналогичном реальному БЩУ. В проверках участвовал оперативный персонал ТАЭС-3, 4. Для валидации БЩУ были «проиграны» следующие **сценарии:**

Сценарии режима НЭ:

1. Выход энергоблока на МКУ мощности.
2. Подъем мощности, прием нагрузки, выход на 100 % N.

3. Перевод работы энергоблока на 3 петли при работе на 4 петлях.
4. Перевод энергоблока в состояние «Горячий останов».

Сценарии нарушений нормально эксплуатации:

1. Действия по предварительным защитам реактора ПЗ-1.
2. Действия по предварительным защитам реактора ПЗ-2.
3. Действия по УПЗ (ускоренной предварительной защите).

Сценарии проектных аварий:

1. Разрыв паропровода.
2. Потеря питательной воды.
3. Потеря внешнего электропитания.
4. Отказ программной части TXS при формировании исходного события «течь 1 контура». Ручной диверсный запуск систем безопасности (MASS).
5. Отказ программной части TXS при формировании исходного события «течь из 1 контура во 2». MASS.
6. Отказ программной части TXS при формировании исходного события «потеря питательной воды» или «разрыв паропровода». MASS.
7. Отказ программной части TXS при формировании исходного события «потеря электроснабжения». MASS.

Сценарии запроектных и тяжёлых аварий

Большая течь первого контура при отказе всех источников электроснабжения.

При работе оперативного персонала на ПМТ (в процессе прогона сценариев) проверялись:

- возможность контроля оперативным персоналом на средствах ЧМИ состояния режима, готовности оборудования, а также состава элементов управления, достаточного для выполнения задачи;
- характеристики органов управления оборудованием, контроля и регистрации процесса, которые позволяют выполнять необходимые для управления операции;
- организация рабочего поля управления для реализации необходимой производительности оператора;
- использование эксплуатационных процедур, соблюдение операторами последовательности операций, указанных в процедурах;
- использование процедур реагирования на сигналы;
- представление в процедурах методов контроля функционирования ФГУ;
- соответствие нагрузок на оператора (физические, визуальные, тактильные, сложность, сроки) человеческим возможностям.

На основании зафиксированных результатов прогона на ПМТ рабочей группой

выполняется анализ:

- плана тренировки по предложенному сценарию;
- организации и методики определения целей тренировки;
- действия операторов и использование ЧМИ при определении состояния энергоблока перед началом тренировки по теме сценария;
- использования архива эксплуатационных процедур перед началом, в процессе тренировки по сценарию;
- выполнения/невыполнения требований эксплуатационных процедур в процессе тренировки;
- уверенного использования ЧМИ для принятия решений и управления;
- формирования кризисных операций в процессе тренировки;
- взаимодействия персонала БЩУ при решении задач управления НЭ. Анализ использования ЭКП;
- диагностирования нарушения НЭ, взаимодействия персонала БЩУ при локализации аварий; анализ использования ЧМИ;
- оценки действий операторов НСБ инструктором УЦ;
- использования информационной поддержки персонала в процессе локализации аварии (ИЛА, РУЗА, инструкции реагирования на сигнал, SPDS);
- нагрузки на персонал при проведении операций управления.

Использование результатов валидации при обосновании безопасности

Результаты валидации БЩУ, РЩУ используются как важнейшая часть при обосновании безопасности в части учёта человеческого фактора (в рамках главы 18 ООООБ).

Основным принципом при составлении главы *18 ООООБ* энергоблоков №3, 4 Тяньваньской АЭС является то, что аспекты человеческого фактора разрабатываются и оцениваются на базе проведённого ранее функционального анализа АЭС и функционального анализа БЩУ, *материалов по* опыту проектирования, сооружения и эксплуатации энергоблоков *№1 и №2* Тяньваньской АЭС*2 с учётом* требований Контракта на строительство АЭС, Требований Надзорного органа КНР и международных документов *[1,2,3,4]*.

Состав отчета по учёту человеческого фактора в главе *18 ООООБ* согласно методике [2] охватывал следующие аспекты:

- программа управления HFE;
- обзор опыта эксплуатации;
- анализ функциональных требований и распределение функций;
- анализ задач;
- персонал и квалификация;
- анализ и учёт критически важных действий персонала;
- проектирование ЧМИ;

- разработка процедур (инструкций);
- разработка программ обучения;
- верификация и валидация с точки зрения человеческого фактора;
- внедрение проекта;
- мониторинг деятельности человека.

Как обязательное приложение в состав главы 18 ООБ «Проектирование с учётом человеческого фактора» входит Отчет по функциональному анализу БЩУ и Отчет по валидации БЩУ.

Заключение

На основании результатов валидации БЩУ, проведённой в соответствии с требованиями международной нормативной документации, разработанного пакета обосновывающих документов и отчетов по учёту человеческого фактора проверка со стороны NNSA была успешно пройдена и было получено разрешение на эксплуатацию энергоблока № 3 Тяньваньской АЭС.

Литература

1. *IEC 60964: Nuclear Power Plants – Control Rooms – Design (International Electrochemical Commission, 2009) (*Атомные электростанции. Пункты управления. Проектирование*).*
2. *NUREG-0711 rev.3 Human Factors Engineering Program Review Model (*Модель анализа программы проектирования человеческих факторов*).*
3. *[3] IEEE Std. 1023-2004: IEEE Recommended Practice for the Application of Human Factors Engineering to Systems, Equipment, and Facilities of Nuclear Power Generating Stations and Other Nuclear Facilities (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2004) (*Рекомендуемая *IEEE* практика применения проектирования человеческих факторов к системам, оборудованию и установкам АЭС и другим ядерным установкам*).*
4. *ISO 11064-1: Ergonomic Design of Control Centres – Part 1: Principles for the Design of Control Centres (International Standards Organization, 2000) (*Принципы проектирования центров управления*).*
5. *IEC 61227:2008 Nuclear power plants - Control rooms - Operator controls. (*Электростанции атомные. Операторские. Органы управления на пульте оператора*).*
6. *IEC 61771:1995 Nuclear power plants – Main control room – Verification and validation of design. (*Электростанции атомные. Главный операторский зал. Проверка и утверждение проекта*).*
7. *IEC 61772:2009 Nuclear power plants – Control rooms – Application of visual display units (VDUs). (Электростанции атомные. Главная диспетчерская. Применение дисплеев).*
8. *IEC 61839 Nuclear power plants. Design of control rooms. Functional analysis and assignment. (Электростанции атомные. Проектирование* пунктов управления. *Функциональный анализ и назначение).*

9.2 Режимные и информационные видеокадры ЛАЭС-2

Кудицкий Ю.Н., Григорьев М.С., Лукьянов Е.М., Сидорчук А.А., Батанина С.В., Сергеева И.Н., Павлюк А.И., Маслова К.А.

В конце *2017 год*а был произведен физический пуск и выход на минимально-контролируемый уровень (МКУ) мощности блока *№1* Ленинградской АЭС-2.

В качестве основного средства управления технологическим процессом в проекте Ленинградской АЭС-2 используются автоматизированные рабочие места (АРМ) с дисплейным способом управления. Мозаичные панели предназначены для резервного управления оборудованием. Подобный подход потребовал разработки нового человеко-машинного интерфейса (ЧМИ), *обеспечивающего необходимый и достаточный объём средств управления и контроля* как на АРМ, так и на панелях.

В состав средств ЧМИ были введены также развитые средства информационной поддержки операторов *(режимные видеокадры, обзорные видеокадры и информационные видеокадры)* с целью удовлетворения основным требованиям международных нормативных документов по учёту человеческого фактора при проектировании человеко-машинного интерфейса пунктов управления.

ФГУП НИТИ им. А.П. Александрова разработал функциональную часть проекта ЧМИ для АРМ, *экрана коллективного пользования (ЭКП) и мозаичных панелей* блочного, резервного и центрального пунктов управления (БПУ, РПУ, ЦПУ).

9.2.1 Общие сведения о составе и объёме компонентов ЧМИ пунктов управления АЭС

На Ленинградской АЭС-2 в пунктах управления предусматриваются следующие средства ЧМИ:

- АРМ блочного уровня:
  - ведущего инженера по управлению реактором (ВИУР);
  - ведущего инженера по управлению турбиной и электрической частью собственных нужд (ВИУТ и ЭЧ СН);
  - инженера вспомогательных систем (ВС);
  - инженера спецводоочистки (СВО);
  - инженера пункта водоподготовки (ПВП);
- АРМ станционного уровня:
  - начальника смены станции (НСС);
  - инженера электрика;
  - инженера общестанционных систем;
- Экран коллективного пользования;

– Панели резервного управления на БПУ и РПУ в составе:
  - секции управления запроектными авариями (ЗПА) *(1 панель на БПУ);*
  - секции управления оборудованием систем безопасности и функциями безопасности (СБ и ФБ) (по 8 панелей на БПУ и РПУ)*;*
  - секции СУЗ (по 1 панели на БПУ и РПУ);
  - секции резервного управления оборудованием нормальной эксплуатации реакторной и турбинной установки (НЭ РУ и ТУ) (по 4 панели на БПУ и РПУ)*;*
  - секции ЭЧ СН *(3 панели на БПУ);*

– Панели управления на ЦПУ *(6 панелей)*.

На АРМ операторов реализуются следующие типы видеокадров (ВК):

- обзорные ВК экрана коллективного пользования*;*
- обобщенные ВК операторов (РУ, ТУ, ВС*, СВО, ПВП);*
- технологические ВК;
- режимные ВК, включая ВК системы представления параметров безопасности (СППБ) для нарушений нормальных условий эксплуатации*;*
- информационные ВК;
- ВК протокола последовательных сообщений;
- ВК трендов (графиков) параметров.

На экране коллективного пользования реализуются обзорные ВК энергоблока в целом.

Общий объём разработанных ВК представлен в *таблице 1*.

Таблица 1

Общий объём разработанных ВК

Тип ВК	Количество ВК на АРМ							
	ВИУР	ВИУТ	ВС	СВО	ПВП	НСС	ИЭ	ОС
Обобщенные	1	1	1	1	1	1	–	2
Технологические	155	134	96	32	71	–	70	54
Режимные	10	5	–	–	–	–	–	–
СППБ (ФБ+КФБ)	18	–	–	–	–	–	–	–
Информационные	22	10	1	1	1	5	–	–
ЭКП	4 комплекта ВК			–	–	–	–	–
Итого	206	150	98	34	73	6	70	56

Общий объём ВК, разработанных для 1 блока и общестанционных систем ЛАЭС-2 составил ~ 700 единиц.

На панелях управления предусматривается установка малогабаритных (25х50 мм, 25х100 мм, 50х50 мм, 50х100 мм, 100х100 мм) мозаичных динамических элементов сигнали-

зации и управления, а также табло сигнализации и показывающих приборов.

Общий объём элементов, размещенных на панелях БПУ и ЦПУ представлен в *таблице 2*.

Таблица 2

Общий объём элементов на панелях управления

	Тип панели	Количество элементов				
		Табло	Приборы	Управление	Сигнализация	Итого
1	ЗПА (БПУ/РПУ)	51/-	98/-	57/-	21/-	227/-
2	СБ и ФБ (БПУ/РПУ)	570/569	227/247	938/896	64/60	1799/1772
3	СУЗ (БПУ/РПУ)	78/71	20/16	12/10	-/-	110/97
4	НЭ РУ и ТУ (БПУ/РПУ)	10/16	115/116	191/194	23/23	339/349
5	ЭЧСН (БПУ/РПУ)	187/-	107/-	125/-	35/-	454/-
6	Итого по БПУ/РПУ (1+2+3+4+5)	896/656	567/379	1323/1100	143/83	2929/2218
7	ЭЧ ЦПУ	482	241	448	50	1221
8	Итого (6+7):	2034	1187	2871	276	6368

Часть мозаичных ячеек панелей занята мнемоническими символами и текстовыми надписями. Общий объём активных элементов контроля и управления, размещенных на панелях БПУ, РПУ и ЦПУ составил ~ 6400 единиц.

При проектировании ЧМИ в проекте ЛАЭС-2 начиная с самых ранних этапов разработки и особенно на этапе пусконаладочных работ особое внимание уделялось организации информационной поддержке операторов на АРМ и ЭКП.

9.2.2 Организация информационной поддержки на АРМ операторов

Рабочее поле АРМ с дисплейным способом управления формируется исходя из функционального подхода к решению технологической задачи. Согласно функциональному подходу оперативный персонал пункта управления контролирует не отдельное оборудование, а состояние технологических задач.

Разработка компонентов ЧМИ выполнялась с учётом:

- требований российских и международных нормативных документов;
- требований со стороны технологических процессов АЭС;
- положений инженерной психологии;
- требований по эргономике;
- особенностей технических и программных средств, на базе которых реализуется ЧМИ.

Организация рабочего информационного поля АРМ оперативного персонала БПУ представлена на *рисунке 1*.

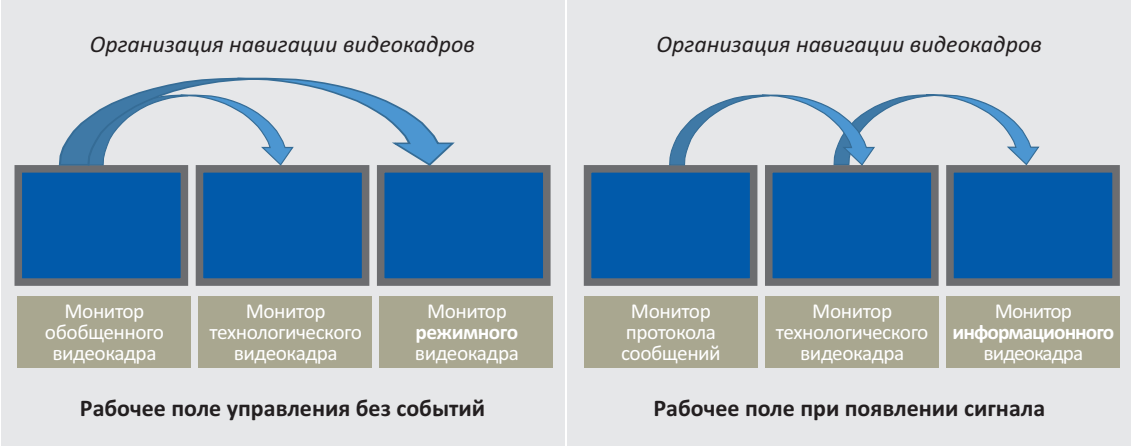


Рисунок 1 – Организация рабочего поля оператора

При этом предполагается постоянное наблюдение обобщенного видеокадра и протокола последовательных сообщений для контроля безопасности и основного технологического процесса, что снижает вероятность ошибочных действий персонала при анализе состояния и управлении. *На остальные мониторы выводятся ВК, необходимые для ведения технологического процесса в данный момент времени.*

Режимные видеокадры предназначены для:

- контроля режима работы основного оборудования и индикации параметров технологического процесса РУ или ТУ, необходимых для реализации перевода энергоблока из одного состояния режима НЭ в другое состояние;
- сигнализации о наступлении регламентных событий, требующих управляющих воздействий оператора при реализации перевода энергоблока из одного состояния режима НЭ в другое состояние на основании анализа процедур по эксплуатации технологических систем, процедур управления, регламента безопасной эксплуатации;
- сигнализации пределов и условий безопасной эксплуатации, свойственных переходному и конечному состоянию энергоблока режима НЭ;
- навигации в технологические видеокадры, оборудование которых используется при переходе из одного состояния в другое;
- навигации в информационные видеокадры для анализа изменения параметров во время переходных процессов;
- навигации в соответствующий раздел процедур (руководств) по переводу из соответствующего состояния НЭ.

Для режимов нормальной эксплуатации на АРМ ВИУР предусмотрены видеокадры, ориентированные на контроль следующих состояний энергоблока:

- работа на мощности;
- перевод РУ на работу с неполным количеством ГЦНА и ввод петли в работу;
- перевод РУ из горячего состояния на минимально контролируемый уровень мощности (МКУ);

– заполнение 1 и 2 контуров, разогрев энергоблока до давления гидроиспытаний;
– гидроиспытания 1 и 2 контура;
– разогрев 1 и 2 контура до номинальных параметров;
– перевод РУ из МКУ в работу на мощности;
– перевод энергоблока в состояние «горячий останов»;
– перевод энергоблока в состояние «холодный останов»;
– перегрузка топлива.

Пример режимного ВК «Перегрузка топлива» представлен на рисунке 2.

Для информационной поддержки оператора в случаях нарушений нормальной эксплуатации и проектных аварий в качестве режимного видеокадра используются видеокадры деревьев функций безопасности / критических функций безопасности.

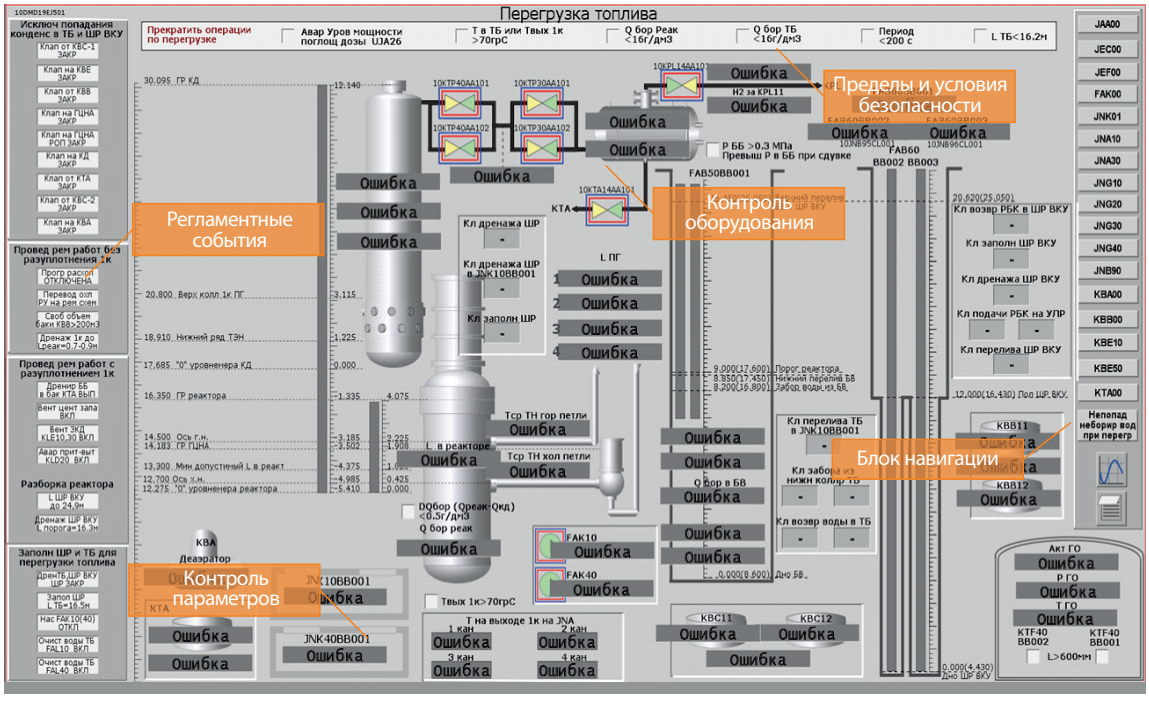


Рисунок 2 – Пример режимного ВК АРМ ВИУР

Для режимов нормальной эксплуатации на АРМ ВИУТ предусмотрены видеокадры, ориентированные на контроль следующих состояний энергоблока:

– работа на мощности;
– подготовка к пуску турбины
– пуск и разворот турбины;
– останов турбоустановки;
– аварийные режимы.

Как вспомогательные видеокадры по отношению к режимным и технологическим видеокадрам предусматриваются информационные видеокадры.

Информационный видеокадр предназначен для оказания помощи оператору в анализе процесса управления, контроля балансов расходов рабочих сред, расчёта времени достижения параметром предельного значения и т.п. Информационные видеокадры, как правило, вызываются из технологических видеокадров.

На поле информационного видеокадра информационные средства (графики параметров, графики рабочей точки, бар-графики) компонуются в зоны по решаемым подзадачам.

Пример информационного ВК «Диаграмма пуска турбины из холодного состояния» представлен на *рисунке 3*.

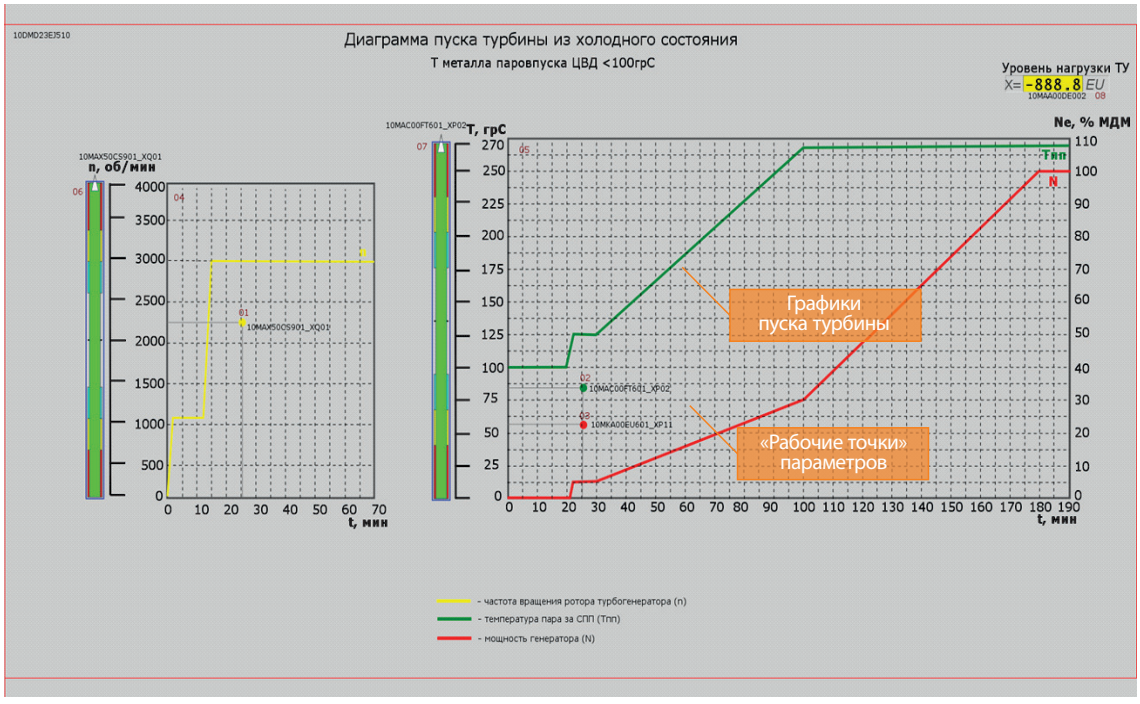


Рисунок 3 – Пример информационного ВК АРМ ВИУТ

9.2.3 Организация информационной поддержки на экране коллективного пользования

Экран коллективного пользования (ЭКП) предназначен для коллективного контроля технологических параметров и состояния оборудования, для организации взаимодействия персонала БПУ во всех состояниях АЭС, как при управлении с АРМ, так и при управлении с панелей резервного управления.

ЭКП разделен на две области: РУ и ТУ. Каждая область реализуется посредством 4 видеокубов EC-50-LSXT с диагональю 40" каждый (1000x750 мм, 1400x1050 пикселей). ЭКП располагается над пультовой частью панелей НЭ РУ и ТУ. Управление выводом информации на ЭКП осуществляется с АРМ начальника смены блока.

Для обеспечения отображения информации при полном отказе системы верхнего блочного уровня (СВБУ), ЭКП подключены к выделенным собственным серверам. *Поэтому для ЭКП требуется разработка* своих комплектов видеокадров. *Каждый комплект состоит из 8* видеокадров (по количеству видеокубов в составе ЭКП).

Предусмотрены 4 комплекта видеокадров *(т.е. 4 составных видеокадра)* ЭКП:

- работа на мощности;
- разогрев/расхолаживание;
- аварийные режимы;
- перегрузка топлива.

Пример ВК ЭКП «Работа на мощности» представлен на *рисунке 4*.

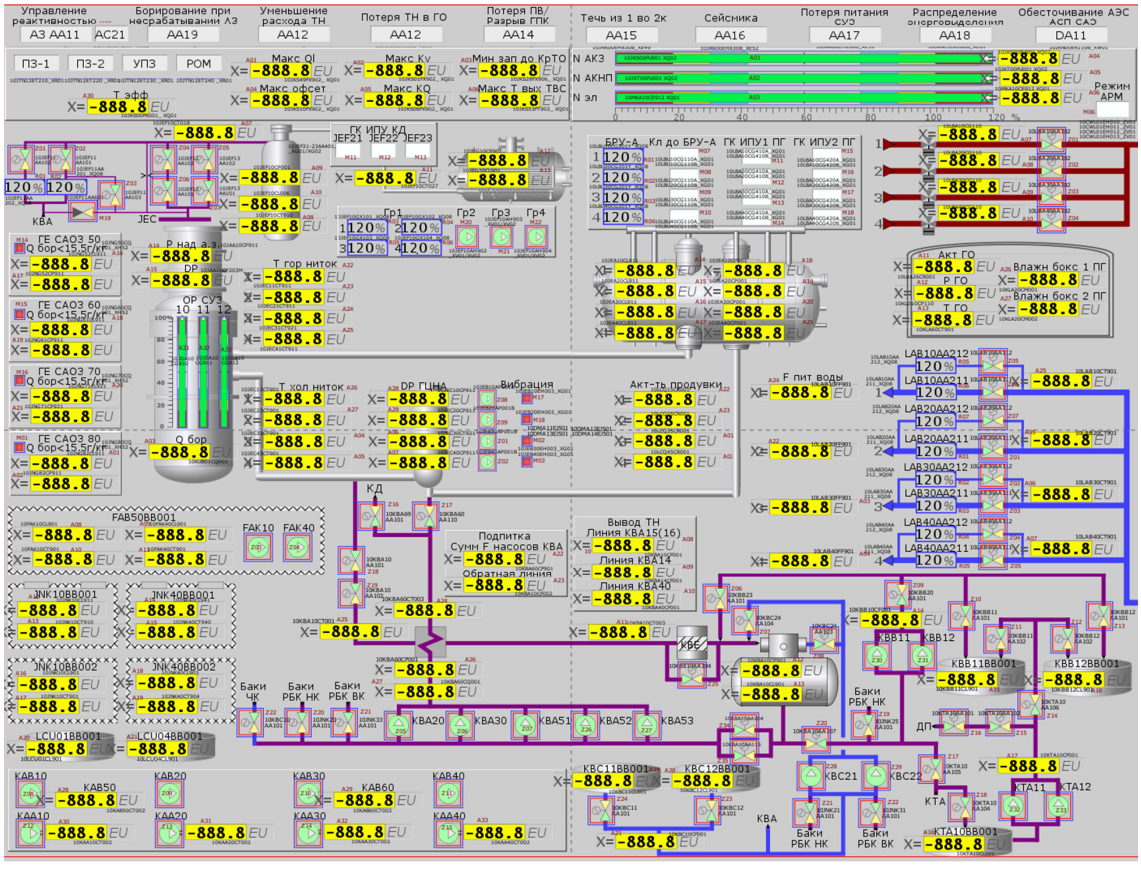


Рисунок 4 – Пример ВК ЭКП (часть РУ)

Заключение

Безопасное и надежное производство электроэнергии во многом связано с эффективностью и безошибочностью действий оперативного персонала. Для этого был создан ЧМИ, важной особенностью которого стала интеграция информационной поддержки *в* основные оперативные средства управления и контроля.

9.3 Комплекс программно-технических средств автоматического контроля и управления модуля аварийного и поставарийного отбора водных сред для энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР

С.В. Васильев, Н.Я. Вилков, А.Т. Маликов, С.В. Прохоркин, А.А. Чертков

В 2015–2017 годах специалистами отделов ОХТИ, ЭОРБ, ОТФИ, КО и ОГК АСУТП разрабатывался опытный образец модуля аварийного и поставарийного отбора водных сред для энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР (АППО). Постановка ОКР, направленной на создание и испытания опытного образца модуля АППО, обусловлена требованиями Стандарта безопасности МАГАТЭ No SSR-2/1, введённого в 2012 году по результатам оценки последствий аварии на АЭС «Фукусима-Дайичи» в марте 2011 г. Указанный Стандарт устанавливает однозначное требование о включении в проекты атомных станций систем аварийного отбора проб жидких и газовых сред из систем и оборудования АЭС (системы PASS – Post Accident Sampling System) как необходимого элемента совершенствования систем управления объектом в аварийной ситуации. Системы PASS предназначены для получения представительных проб технологических сред с целью их детального радиохимического и химического анализа и повышения общей достоверности оценок степени повреждения активной зоны и выхода продуктов деления, используемых при выработке решений по управлению авариями.

При этом, должно обеспечиваться снижение с заданной кратностью активности исходной пробы, передаваемой на анализ, и биологическая защита оператора от радиоактивного излучения, а также изоляция пробы (газ, жидкость) от окружающей среды при реализации процедур пробоотбора.

В состав разработанного опытного образца модуля АППО входят: коллектор, теплообменник, узел подготовки проб, узел фасовки проб, узел бака запаса воды высокой чистоты, комплекс программно-технических средств автоматического контроля и управления.

Для модуля АППО предусмотрены следующие основные режимы функционирования:

- ожидание команды оператора на переход в один из режимов, приведённых ниже;
- основной режим – решается задача отбора и фасовки исходной пробы высоких или низких параметров от одной точки отбора водного теплоносителя;
- вспомогательный режим – решаются задачи дезактивации и отмывки гидравлических трактов соответствующими растворами, калибровки трактов фасовки пробы калибровочными растворами.

В рамках разработки опытного образца модуля АППО отдел главного конструктора АСУТП выполнил разработку комплекса программно-технических средств автоматического контроля и управления модуля АППО.

9.3.1 Описание комплекса программно-технических средств автоматического контроля и управления модуля АППО

Цель и назначение комплекса программно-технических средств автоматического контроля и управления модуля АППО

Основной целью создания комплекса программно-технических средств автоматического контроля и управления (далее – АКУ) модуля АППО является обеспечение управления процессами отбора и фасовки водных сред для энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР в аварийных условиях. В том числе при потере электроснабжения энергоблока.

АКУ модуля АППО предназначен для решения задач автоматизации процессов отбора и фасовки водных сред, а также контроля снижения активности исходной пробы с соответствующим информированием оперативного персонала.

Режимы функционирования комплекса программно-технических средств автоматического контроля и управления модуля АППО

Для АКУ предусмотрены следующие режимы функционирования:

- включение;
- подготовка;
- рабочий режим функционирования;
- вывод модуля АППО из рабочего режима и режима подготовки;
- выключение.

Основной задачей режимов «Включение» и «Выключение» является проверка состояния оборудования модуля АППО и определение готовности к выполнению задач основного и вспомогательного режимов после подачи электропитания, а также корректного завершения работы программно-технических средств АКУ перед снятием электропитания.

В режиме «Подготовка» реализуются алгоритмы задач технологической подготовки (калибровка трактов фасовки исходной пробы или дезактивация и отмывка гидравлических трактов соответствующими растворами и т.д.) модуля АППО к переходу в основной режим или переходу в режим ожидания.

При рабочем режиме обеспечивается реализация алгоритмов отбора и фасовки исходной пробы, а также решается задача контроля активности исходной пробы и выдачи информации о безопасной работе оперативного персонала с расфасованной пробой. В начале рабочего режима осуществляется контроль состояния всего оборудования модуля АППО, включая состояние АКУ.

В режиме «Вывод модуля АППО из рабочего режима и режима подготовки» решаются следующие задачи: дезактивация и отмывка гидравлических трактов соответствующими растворами, а также информирование о протекании указанного процесса.

Для персонала предусмотрены права доступа «Администратор» и «Оператор» при работе с АКУ. Определение прав доступа осуществляется с передней дверцы шкафа АКУ путем установки соответствующего ключа в требуемое положение. Расположение элементов управления на передней дверце шкафа АКУ показано *на рисунке 4*.

Режим работы с АКУ с правами доступа «Администратор» предоставляет максималь-

но широкие возможности контроля и управления работой модуля АППО (включая АКУ) – для этого разработаны соответствующие видеокадры и окна. Управление отдельным технологическим оборудованием, а также изменение настроек АКУ возможно только при работе с правами доступа «Администратор» .

Основным режимом работы с АКУ является контроль и управление с правами доступа «Оператор». В этом режиме работой АКУ и модуля АППО осуществляет оперативный персонал при помощи системы видеокадров, функционирующей на базе панельного и удаленного компьютеров. Пример основного видеокадра («Режим работы») управления технологическими процессами отбора, фасовки, калибровки и т.д. приведён *на рисунке 1*.

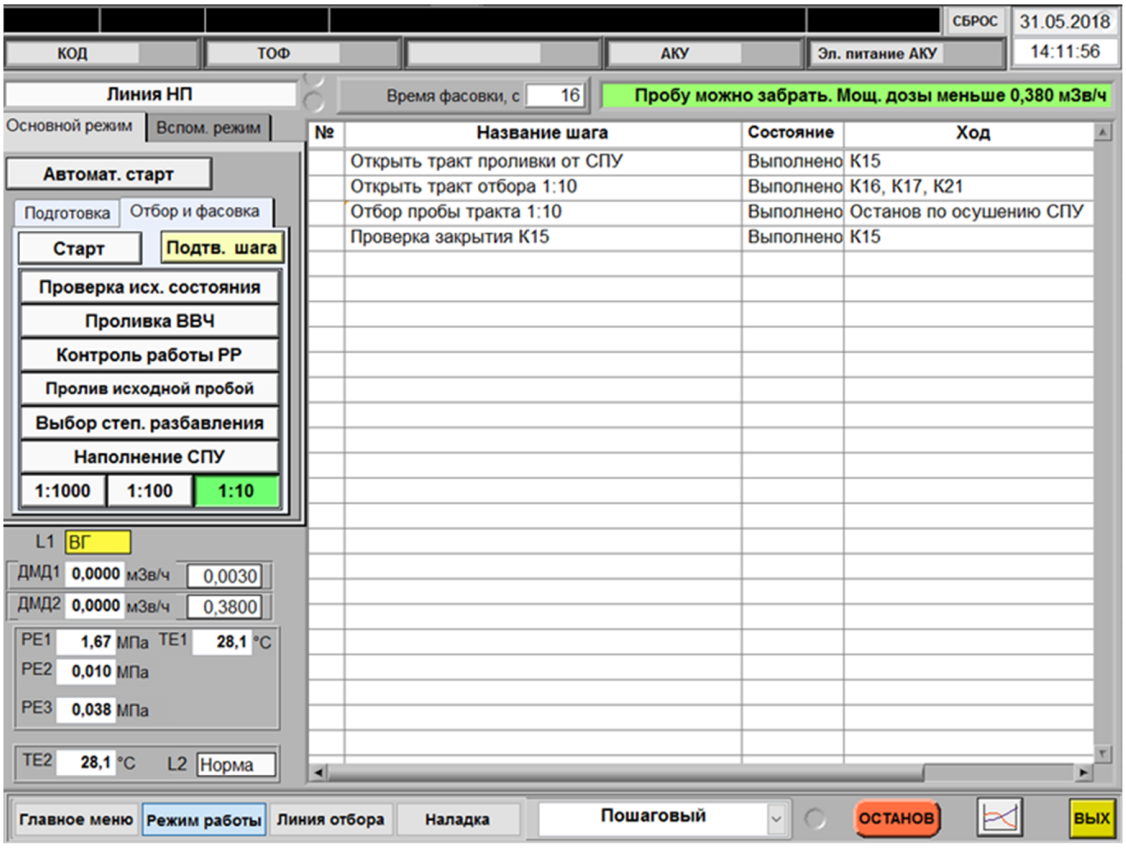
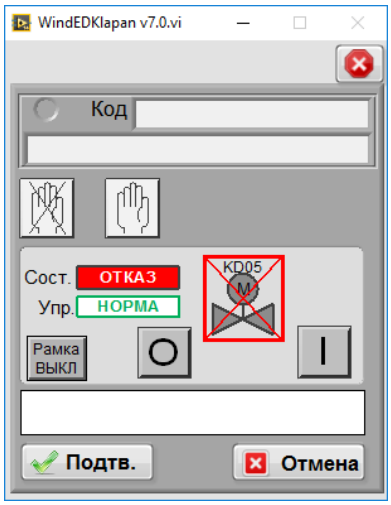


Рисунок 1 – Пример видеокадра «Режим работы»

АКУ обеспечивает решение технологических задач в режимах непрерывного, пошагового и ручного выполнения. В режиме непрерывного выполнения алгоритм задачи реализуется автоматически от начала до конечного результата, остановки предусмотрены только по нарушению в работе модуля АППО или при его аварийном останове оператором. При пошаговом режиме технологический процесс разбивается на отдельные подпроцессы (шаги), которые реализуются в непрерывном режиме, перед началом шага и после его завершения выдается соответствующее сообщение.

Учитывая решаемые технологические задачи и режимы функционирования модуля АППО, перечисленные выше, были выбраны технические решения при создании комплекса программно-технических средств автоматического контроля и управления, описанные ниже.



Ручное управление подразумевает автоматизированное дистанционное управления при помощи видеокадра технологической схемы модуля АППО, а также соответствующих окон состояния оборудования посредством элементов управления (кнопки, меню и т. д.), смотри *рисунок 2*.

Для обеспечения работы модуля АППО при отключении электропитания в АКУ предусмотрена система электропитания с устройствами бесперебойного питания, включающие аккумуляторные батареи, обеспечивающие работу модуля АППО в течение 6 часов.

Рисунок 2 – Пример окна управления клапаном

Описание основных технических решений, используемых при создании АКУ

Исходя из состава и количества технологического оборудования и изложенного выше описания модуля АППО, для реализации АКУ выбрана одноуровневая централизованная структура с возможностью управления с удаленного рабочего места. Структурная схема АКУ приведена *на рисунке 3*. В рамках выбранной структуры выделены две конструктивные единицы: шкаф автоматизированного контроля и управления (шкаф АКУ) и шкаф электропитания (шкаф ЭП).Такое решение позволяет разделить задачи контроля и управления и обеспечения электропитанием. В случае обеспечения надежного электропитания на технологическом объекте возможно использование только шкафа АКУ, что существенно сокращает количество оборудования модуля АППО.

Согласно описанию модуля АППО, комплекс программно-технических средств АКУ должен обеспечивать:

- измерение и обработку электрических сигналов от датчиков или от вторичных приборов модуля АППО;
- реализацию алгоритмов управления технологическим оборудованием, технологическими процессами и режимами работы модуля АППО, а также формирование и выдачу выходных дискретных сигналов, в том числе управляющих;
- обмен данными с панельным и удаленным компьютерами, а также реализацию на их базе отображения, регистрации, хранения и документирования измерительной информации, данных о действиях оператора АКУ, данных о состоянии средств АКУ;
- объединение оборудования АКУ в систему при помощи типовых каналов связи (Ethernet и RS485);
- работу модуля АППО в течение 6 часов при отключении внешнего электропитания.

Исходя из вышеизложенного, а также требования использования на объектах ядерной энергетики был определён следующий состав основного оборудования АКУ:

- шкаф автоматизированного контроля и управления (фирма «Провенто», г. Санкт-Петербург), 600x864x446) в составе:

- промышленный контроллер – 1 шт.;
- блок преобразователя частоты – 2 шт.;
- блок электропитания – 5 шт.;
- панельный промышленный компьютер – 1 шт.;

– шкаф электропитания в составе:

- источник бесперебойного электропитания – 1 шт.;
- аккумуляторный блок – 2 шт.;

– удалённый компьютер – 1 шт.

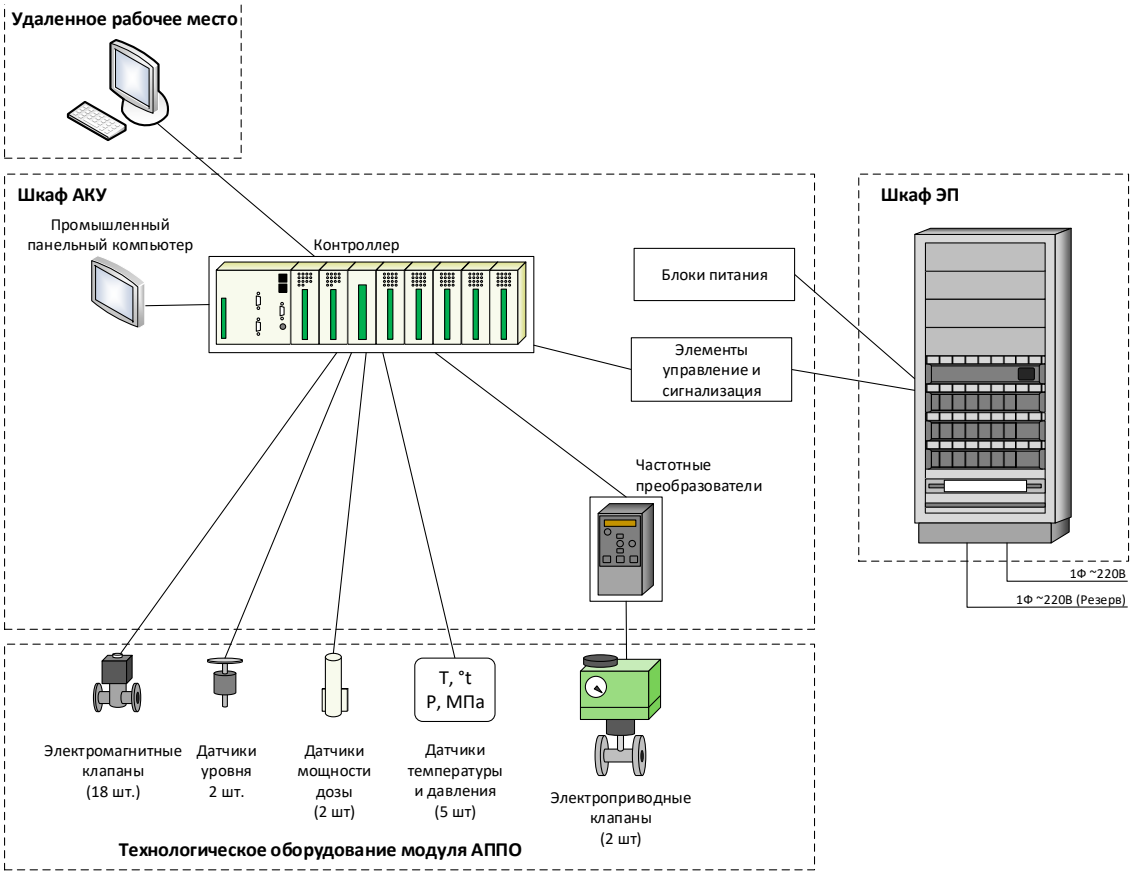


Рисунок 3 – Структурная схема АКУ

Вид спереди шкафа АКУ показан *на рисунке 4*.

В качестве контроллера шкафа АКУ выбран контроллер «Сонет» производства ФГУП «ЭЗАН», г. Черноголовка. Выбранный контроллер внесен в реестр средств измерений РФ и разрешён для применения на АЭС.

Контроллер «Сонет» конструктивно представляет собой каркас с установленными модулями (внешний вид контроллера показан *на рисунке 5*) и имеет размеры ВхГхШ: 130х145х315/407 мм, в зависимости от исполнения в крейт могут быть установлены 5 или 8 модулей ввода-вывода.

Рисунок 4 – Вид спереди шкафа АКУ

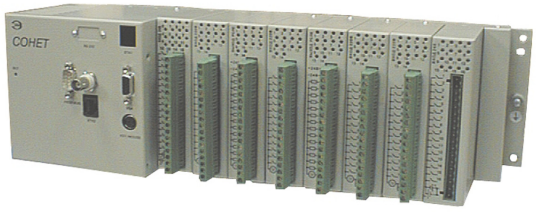


Рисунок 5 – Внешний вид контроллера «Сонет»

Для реализации АКУ выбран 8-слотовый контроллер, в следующем составе:

- процессорный модуль СН-МП-РС104 – 1 шт.;
- модуль дискретного вывода СН-ДВ-14-Р – 2 шт.;
- модуль дискретного ввода СН-ДВВ-16-24В – 2 шт.;
- модуль аналогового ввода СН-АВВ-8-20мА-1 – 1 шт.;
- модуль дискретного вывода СН-ДВ-16-ОК – 1шт.

Контроллер функционирует под управлением операционной системы QNX, программирование осуществляется посредством среды программирования PLC Designer, которая включает следующие основные компоненты: редактор дерева проекта, редактор переменных, графический редактор SFC/FBD/LD схем, редактор программирования на языке IL, средства удалённой наладки и другие компоненты. Программирование контроллера осуществлялось на языке FBD схем.

На базе ПЛК реализуются алгоритмы контроля и управления технологическими процессами АППО в режимах, описанных выше.

Обмен данными с панельным и удалённым компьютером осуществляется по каналу связи Modbus TCP.

Для управления асинхронным двигателем электромеханических клапанов применяется преобразователь частоты ОВЕН ПЧВ1 фирмы «Овен» (г. Санкт-Петербург). Использование преобразователей частоты обусловлено необходимостью управления электромеханическими клапанами с трёхфазным напряжением электропитания 380 В переменного тока частотой 50 Гц.

Применение частотного преобразователя позволяет:

- регулировать частоту трёхфазного напряжения питания управляемого двигателя в пределах от нуля до 400 Гц;
- плавно осуществлять разгон и торможение двигателя, при необходимости по линейному закону от времени. Время разгона и (или) время торможения от 0,01 с до 50 мин;
- осуществлять реверс двигателя, при необходимости с плавным торможением и плавным разгоном до заданной скорости противоположного направления;

– осуществлять диагностику работы привода клапана и контроль аварийных режимов управляемого двигателя.

Для обеспечения требуемых параметров электропитания используются источники питания фирмы Hirschmann, а также источник питания фирмы Phoenix Contact, серии Step Power, модель STEP-PS/1AC/12DC/1.

В качестве панельного компьютера используется панельный промышленный компьютер iRobo 5000-20C1T со следующими основными характеристиками:

– дисплей – 12.1" с максимальным разрешением 1024x768, технология LCD TFT с резистивным вводом;
– процессор – Intel Atom D2550;
– оперативная память – 2 ГБ (DDR3 800, DDR3 1066);
– контроллер Ethernet – Intel 82574L 10/100/1000 Mbps;
– габаритные размеры (ШхВхГ), мм – 317x243x65,89.5.

Панельный компьютер функционирует под управлением операционной системы Windows XP. Специальное программное обеспечение обеспечивает решение всех необходимых задач модуля АППО во всех режимах его функционирования. Специальное программное обеспечения разработано в среде программирования LabView (фирма National Instruments, США) и может функционировать как под управлением операционной системы Windows не ниже XP, так и под управлением операционной системы Linux.

Контроль и управление технологическими процессами АППО осуществляется оперативным персоналом при помощи системы видеокадров.

Разработанная система видеокадров предполагает разбиение области экрана дисплея на три части (смотри *рисунок 6)*:

– обзорная область – верхняя часть экрана;
– рабочая область экрана или рабочее поле – средняя часть экрана;
– область кнопок – нижняя часть экрана.

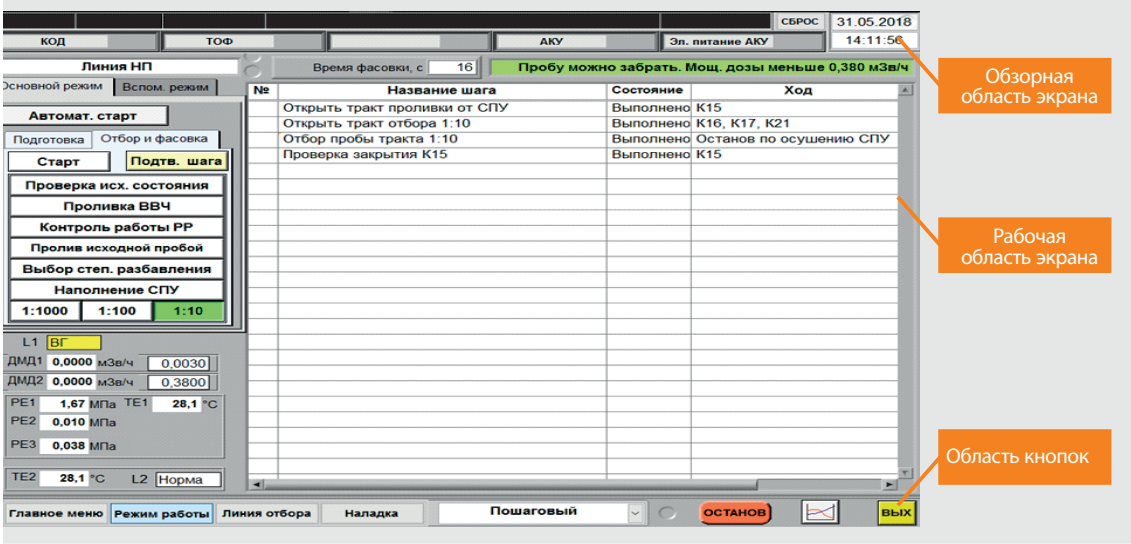


Рисунок 6 – Видеокадр «Режим работы», разделение области экрана дисплея на части

Обзорная область постоянно отображается и расположена в верхней части экрана и содержит основные элементы сигнализации событий (включая текстовые сообщения), а также данные о текущем времени и дате. Область кнопок также постоянно отображается и расположена в нижней части экрана и содержит кнопки управления работой системы видеокадров (переключение режимов, вызов видеокадров и другие). Рабочая область экрана предназначена для функционирования основных видеокадров с целью контроля и управления технологическими процессами модуля АППО.

Система видеокадров включает следующие видеокадры и окна: контроля и управления технологическими данными, режимами технологических процессов и модуля АППО, режимами работы АКУ, представления данных в виде мнемосхем, графиков, таблиц и т.д. (смотри *рисунок 7)*.

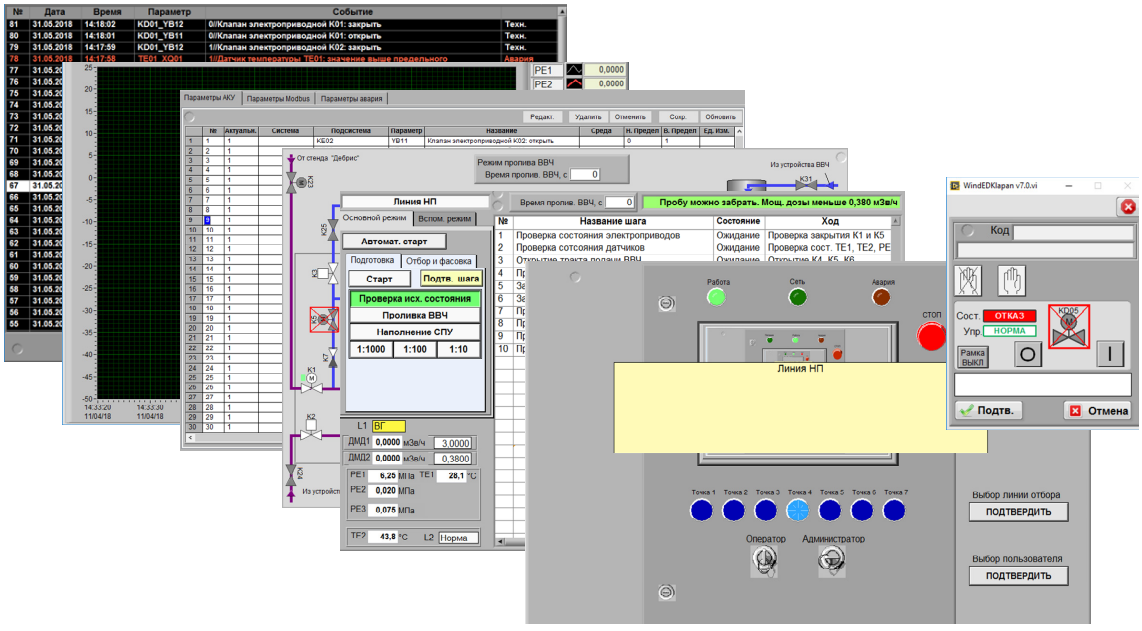


Рисунок 7 – Примеры видеокадров и окон модуля АППО

Обмен данными с контроллером шкафа АКУ осуществляется по каналу связи Modbus TCP.

В качестве удалённого компьютера может использоваться любой персональный компьютер с характеристиками, не хуже, указанных для панельного компьютера.

Основным назначением шкафа электропитания является обеспечение модуля АППО бесперебойным электропитанием в течение 6 часов, при отключении внешнего электропитания. Для этих целей использован источник бесперебойного питания UPS 1500 VH GE производства компании General Electric, полная выходная мощность 1500 ВА, оснащён информативным дисплеем со светодиодной индикацией. В качестве аккумуляторного блока системы электропитания модуля АППО используются два внешних аккумуляторных модуля VH Series Battery Pack 36V/14Ah.

Описание функционирования

Специальное программное обеспечение контроллера и панельного компьютера шкафа АКУ запускается автоматически после подачи электропитания от шкафа ЭП на шкаф АКУ.

После чего на экране панельного компьютера появляется стартовый видеокадр, что соответствует переходу АКУ в режим ожидания команды оператора. Далее оператор должен при помощи элементов управления на передней дверце и экране панельного компьютера выбрать линию отбора пробы (включая линии отбора пробы с высокими/низкими технологическими параметрами – температура и давление) и перейти к видеокадру «Режим работы».

После выполненных действий оператор выбирает посредством выпадающего меню режим выполнения задачи, далее при помощи закладок определяет необходимую задачу и при помощи кнопки старта задачи (*на рисунке 6* – кнопка «Автомат. старт») запускает выполнение задачи. Контроль выполнения запущенной задачи осуществляется по данным таблицы в правой части видеокадра «Режим работы», по состоянию кнопок технологических шагов в закладках – левая часть видеокадра, а также по состоянию других элементов индикации видеокадра согласно их назначению.

При работе в основном режиме модуля АППО, АКУ в непрерывном/пошаговом режиме выполняет необходимые действия по отбору и фасовке пробы, а также осуществляет в автоматическом режиме контроль (с выдачей соответствующей сигнализации) суммарной радиоактивности исходных проб высоких/низких параметров и при достижении значений приемлемых для химического и радиохимического анализа исходных проб высоких и низких параметров в лабораторных условиях будет выдано сообщение о возможности забрать пробу.

В случае необходимости задачу можно экстренно прервать, используя кнопки «Останов» на передней дверце шкафа АКУ или экране панельного компьютера.

Режим ручного управления возможен только при доступе к работе с АКУ с правами «Администратор». В этом случае ответственность за принятые решения несёт персонал, осуществляющий соответствующие переключения.

Заключение

АКУ прошёл все испытания в составе модуля АППО. Проверка модуля АППО осуществлялась при работе с исходной пробой низких параметров (температура – 20 °С и давление – 0,1 МПа) и высоких параметров (температура – 270 °С и давление – 16 МПа), графики параметров, сохранённых в процессе работы модуля АППО под управление АКУ, приведены *на рисунке 8*.

Опытный образец модуля АППО испытывался во всех требуемых режимах (описание режимов приведено выше), при этом АКУ обеспечил реализацию всех предусмотренных алгоритмов и функционировал в соответствии с эксплуатационной документацией на него.

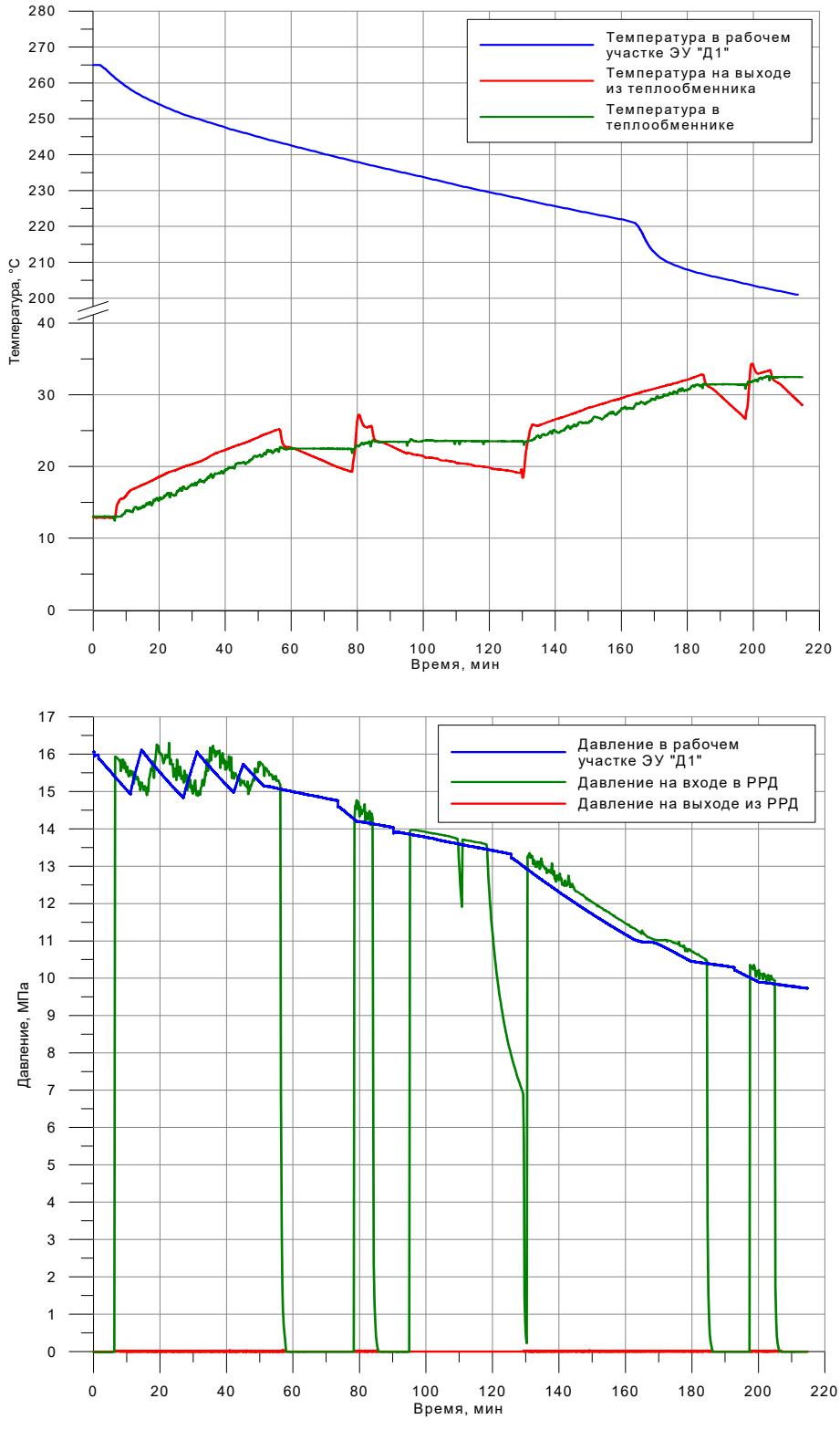


Рисунок 8 – Графики основных параметров модуля АППО при проведении испытаний с исходной средой высоких параметров

10. ЭНЕРГОМЕХАНИЧЕСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

11.1 Управление энергоснабжением

11.2 Отдел главного механика

10. ЭНЕРГОМЕХАНИЧЕСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

10.1 Управление энергоснабжением

Итоги деятельности УЭС в 2017 году

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 2018 год;
- проведено техническое освидетельствование и техническое диагностирование поднадзорного оборудования энергоустановок, трубопроводов пара и горячей воды, систем, важных для безопасности, стендовых комплексов института, зарегистрированных на предприятии и СЕМТУ Ростехнадзора. Разработаны графики технического освидетельствования и технического диагностирования поднадзорного оборудования на 2018 год;
- перед началом отопительного сезона 2017–2018 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 комплексу Ленинградской области по проверке готовности систем теплоснабже-

ния и электроснабжения, теплопотребляющих установок, НИТИ выдан акт о готовности к работе в осенне-зимний период 2017-2018 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 и пр.), оформлены заявки на включение мероприятий в соответствующие Титульные списки на 2018 год;
- обеспечено бесперебойное снабжение энергоресурсами заданных параметров стендовых комплексов 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.;
- разработано техническое задание на оказание услуг по «Текущему содержанию железнодорожных путей необщего пользования ФГУП «НИТИ имени А.П. Александрова» и на «Выполнение комплекса работ по замене шпал на участке железнодорожного пути необщего пользования на участке от СП-46 до фронтов разгрузки». Это позволило произвести техническое обслуживание железнодорожных путей, стрелочных переводов, железнодорожных переездов, установить новые железнодорожные знаки безопасности, заменить шпалы.

По направлению

«Техническое перевооружение и ввод в работу новых теплопотребляющих и электрических установок и оборудования»:

- разработаны технические задания на закупку оборудования по проектной документации «Реконструкция стенда КМ-1 для испытания ЯЭУ АМБ-8 с жидкометаллическим теплоносителем»;
- выполнены пуско-наладочные работы на узле коммерческого учёта тепловой энергии в автотранспортном отделе НИТИ (УКУТЭ АО), система сдана под взаиморасчёты со СМУП «ТСП»;
- силами ООДУиП при содействии ЭТЦ выполнен капитальный ремонт линий связи приборов учёта канализационных стоков;
- выполнена замена счётчиков коммерческого учёта электрической энергии на базе отдыха «Голубое» на счётчики с встроенными GSM-модемами, что позволило снимать показания счётчиков дистанционно с помощью АСДС УО и, как следствие, существенно сократить количество объездов объекта выездной бригадой;

- оформлен разрыв договоров электроснабжения с ОАО ССМУ «Ленатомэнергострой» и с концерном «Титан-2», что позволило вывести из эксплуатации ТП 6/0,4 здания 186в, тем самым исключив значительные потери холостого хода трансформаторов;
- выполнена реконструкция системы электропитания УУТЭ здания 150б;
- в рамках подготовки к испытаниям АИИС КУЭ на предмет определения её соответствия требованиям оптового рынка было выполнено изменение схемы подключения счётчика транзитной яч.10 ЗРУ-6 кВ ПС-169;
- проведён эксперимент по применению расходомеров-счётчиков типа Взлёт-540Ц (цифровая модификация, взамен используемой аналоговой), на основе результатов которого решено применять данную модификацию. Это позволит в 4 раза сократить расходы на модернизацию СКУВ-164 по сравнению с ранее предлагавшимися решениями;
- разработана необходимая техническая документация (технические решения, технические задания, акты технического состояния и пр.) для постановки на бухгалтерский учёт вновь приобретаемого оборудования, установок для УЭС и для списания и ликвидации, непригодных к дальнейшей эксплуатации;
- выполнена замена встроенной трансформаторной подстанции 6/0,4 кВ (КТП-962) здания 962 с увеличением номинальной мощности трансформаторов, что дало возможность подключения по электроснабжению новых стендов ОТФИ;
- установлены новые распределительные пункты РП-1 и РП-2 для электропитания потребителей здания 117, что позволило уменьшить потери электрической энергии и увеличить надёжность в связи с использованием современных коммутационных аппаратов;
- выполнены работы по ремонту внутренних электрических сетей зданий гаража, некоторых зданий в/ч 3705. В результате проведённой реконструкции заменены физически устаревшее электрооборудование и электропроводниковая продукция;
- выполнены силами ЭТЛ ПНР встроенной трансформаторной подстанции здания 962, вновь введенных РП-1 и РП-2 здания 117, конденсаторных батарей КБ-1 – КБ-4 здания 163а, электроснабжения БКАЭС-1 и БКАЭС-2 здания 163а.

По направлению

«Снижение расходов предприятия на содержание энергохозяйства и минимизации затрат на оплату энергоносителей»:

- успешно решалась 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;

– с целью исполнения распоряжения 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;

– с целью исполнения постановления Правительства РФ № 624 от 24.05.2017 проведена работа по организации подключения к системам автоинформирования путём выделения единого для всех НС УЭС внешнего адреса электронной почты для получения и отправки уведомления о введении ограничения/возобновления режима потребления электрической энергии в отношении энергопринимающих устройств НИТИ от энергосбытовых, энергоснабжающих или сетевых организаций.

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);

– выполнена замена устаревших световых приборов на световые приборы с энергоэкономичными источниками света в зданиях института, что позволило сократить расходы на электроэнергию, улучшить показатели качества освещённости (уменьшение пульсации, при меньшей мощности – увеличение светового потока);

– выполнена корректировка проектной документации на создание АИТП зданий 102, УУТЭ здания 102;

– продолжены работы по наращиванию и адаптации к требованиям пользователей функционала виртуального портала «Энергетика-2», созданного ранее на базе взаимоинтегрированных АСУ (АСУТП «Энергетика», АСДС УО, СПД, АИИС КУЭ);

– в соответствии с заданием ЯОК Госкорпорации «Росатом» № 1-4.3/20041 от 19.05.2017 представлены материалы от НИТИ для подготовки ежегодного государственного доклада о состоянии энергосбережения и повышения энергетической эффективности в организациях Госкорпорации «Росатом».

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 ГК «Росатом» P-BS2-1). В 2017 году согласно заданию ЯОК Госкорпорации «Росатом» 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;

– для оформления договора теплоснабжения с Ленинградской АЭС силами ООДУиП выполнен расчёт потерь в тепловых сетях института.

По направлению

«О дальнейшем развитии ПСР»

В 2017 году в УЭС были разработаны и реализованы или выполнены подготовительные работы по следующим ПСР-проектам:

– снижение затрат по промышленной котельной НИТИ;

– снижение затрат по резервной дизельной электростанции (здание 122а);

– создание автоматизированного учёта расхода электроэнергии на хозяйственные нужды (АИИС ТУЭ);

– проведены подготовительные мероприятия по обеспечению в УЭС работы с организационно-распорядительными документами в единой отраслевой системе электронного документооборота Госкорпорации «Росатом»;

– проведены подготовительные работы по освоению «Регламента формирования табеля учёта рабочего времени в НИТИ для улучшения процесса взаимодействия и распределения ответственности при формировании табеля.

Достигнутые работниками УЭС результаты работ 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 сотрудники УЭС в 2017 году получили заслуженную оценку: ряд работников УЭС поощрены Почётными грамотами и благодарностями руководства Госкорпорации «Росатом», губернатора Ленинградской области, главы Сосновоборского Городского Округа, администрации НИТИ.

10.2 Отдел главного механика

Е.Б. Шехонов

Главной задачей отдела главного механика (ОГМ) в 2017 году являлось обеспечение испытаний, проводимых на стендах-прототипах института.

В период межциклового обслуживания, в сжатые сроки, сотрудниками отдела выполнены работы по ремонту:

- вращающей сетки С4 зд.117;
- насосов НА1, НА2, НА3, НА4 в машзале №1 и машзале №2 зд.164;
- напорной линии насосов Н10 и Н7 зд.117.

Продолжены работы по реконструкции промышленной котельной с целью снижения затрат на ее содержание и энергосбережения:

- выполнен демонтаж парового котла ДКВР-10/39 №7 в зд.150А на 50%;
- выполнен демонтаж дымососов с газоходами Д-10 в зд.150Б;
- выполнен демонтаж установок редукционных РУ-39/13 и РУ-13/12;
- выполнен демонтаж насоса газодувки ГРМК-4.

Объекты института своевременно подготовлены к отопительному сезону 2017-2018 г.г.

В январе 2017 года ОГМ приступил к изготовлению комплектующих для монтажа новой системы в зд. Крупномасштабного стенда (КМС) «Промежуточный контур охлаждения» для обеспечения исследований, проводимых отделом теплофизических исследований и успешно закончил монтаж в марте месяце.

Совместно с отделом химико-технологических исследований ОГМ начал работу по изготовлению комплектующих «АСППР» для ЛАЭС-2. Срок окончания работ – 2018 год.

Большой вклад по изготовлению комплектующих «АСППР» внесли начальник механического участка Пислегин С.Е., инженер-технолог Тенищев П.С., электрогазосварщик слесарно-сборочного участка Бабров Е.Н., токарь механического участка Виноградов И.С.

Ремонтно-строительный участок под руководством Толмасова В.В. успешно закончил капитальный ремонт зд.115.

11. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

11.1 Международное сотрудничество

11.2 Участие специалистов НИТИ в совещаниях, семинарах, конференциях, выставках, молодёжных форумах Госкорпорации «Росатом»

11.3 Научно-технические издания, публикации

11.4 Конкурсы научных и инженерных работ

11. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

11.1 Международное сотрудничество

Ю.В. Крюков

В 2017 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, Нидерланды, Япония, Китай, Финляндия, Республика Беларусь)

С 16 по 19 января начальник отдела ИТА Альмяшев В.И. принял участие в совещании по проекту NEA TCOFF, посвященному термодинамическому описанию топливного дебриса и продуктов деления на основе анализа сценариев тяжёлой аварии на АЭС Фукусима-1. (г. Париж, Франция).

С 14 по 20 января и с 26 июня по 01 июля начальник лаборатории Кудицкий Ю.Н. и инженер 1 кат. Григорьев М.С. отдела главного конструктора АСУТП приняли участие в совещаниях по ОООБ Тяньваньской АЭС (в части Главы 18 ОООБ) (г. Пекин, Китай).

С 13 по 15 февраля начальник отдела главного конструктора АСУТП Михалицын В.Г. и начальник лаборатории Кудицкий Ю.Н. этого же отдела приняли участие в совещании по роли «Концепции управления» в проекте АЭС «Ханхикикви-1» (г. Эспоо, Финляндия).

С 11 по 18 марта начальник лаборатории Кудицкий Ю.Н. и инженер 1 кат. Григорьев М.С. отдела главного конструктора АСУТП приняли участие в совещании по верификации и валидации БПУ с точки зрения учёта человеческого фактора согласно 18 Главе ОООБ Тяньваньской АЭС (г. Ляньюньган, Китай).

С 16 по 18 мая начальник лаборатории Кудицкий Ю.Н. и инженер 1 кат. Григорьев М.С. отдела главного конструктора АСУТП приняли участие в совещании рабочей группы по разработке документов по учёту человеческого фактора и человеко-машинного интерфейса (HFE/HIS) в проекте АЭС «Ханхикикви-1» (г. Хельсинки, Финляндия).

С 22 по 24 мая начальник лаборатории Кудицкий Ю.Н. отдела главного конструктора АСУТП принял участие в совещании рабочей группы по вопросам согласования документации ADLAS в проекте АЭС «Ханхикикви-1» (г. Эспоо, Финляндия).

С 30 мая по 09 июня начальник отдела главного конструктора АСУТП Михалицын В.Г. принял участие в 22-ом Координационном совещании по вопросам СКУ, верификации и валидации БЩУ и разработки 18 Главы ОООБ (г. Ляньюньган, Китай).

С 04 по 10 июня ведущий инженер Концевов Д.А., инженер Шарин А.А. и слесарь КИПиА Сухинин В.Н. отдела радиационной безопасности приняли участие в совещании в УП «Атомтех» по правилам монтажа и ввода в эксплуатацию установки дозиметрической гамма-излучения «УДГ-АТ110» (г. Минск, Республика Беларусь).

С 13 по 16 июня начальник отдела главного конструктора АСУТП Михалицын В.Г. и инженер 1 кат. Григорьев М.С. приняли участие в совещании рабочей группы по планированию качества и связи с жизненным циклом СКУ и применения симуляторов для верификации и валидации (HFE) (г. Хельсинки, Финляндия).

С 19 по 24 июня начальник отдела ИТА Альмяшев В.И. принял участие во втором ежегодном совещании европейского проекта «Внутрикорпусное удержание расплава» (IVMR) (г. Алкмар, Нидерланды).

С 01 по 09 июля начальник отдела ИТА Альмяшев В.И. принял участие в совещании по проекту АЯЭ «Термодинамическое описание топливного дебриса и продуктов деления на основе анализа сценариев тяжёлой аварии на АЭС Фукусима-Дайичи» (г. Ибараки, Япония).

С 27 по 29 августа начальник отдела главного конструктора АСУТП Михалицын В.Г. принял участие в совещании с Владельцем (Fennovoima Oy) по теме «Обсуждение системы «Building automation system (BAS)» (г. Хельсинки, Финляндия).

С 30 августа по 01 сентября и с 11 по 12 октября начальник лаборатории Кудицкий Ю.Н. и инженер 1 кат. Григорьев М.С. отдела главного конструктора АСУТП приняли участие в совещаниях рабочей группы по замечаниям к документу Plant Operational Design (POD) для проекта АЭС «Ханхикикви-1» (г. Эспоо, Финляндия).

С 07 по 08 сентября начальник отдела главного конструктора АСУТП Михалицын В.Г. принял участие в совещании рабочей группы по проектированию учёта человеческого фактора и человеко-машинного интерфейса (HFE/HIS) (г. Хельсинки, Финляндия).

С 26 по 29 сентября начальник отдела главного конструктора АСУТП Михалицын В.Г. принял участие в совещании по разработке документа Plant Operational Design (POD) (г. Эспоо, Финляндия).

Проект АЭС «Ханхикикви-1»

С 12 по 14 ноября и с 19 по 21 декабря начальник отдела главного конструктора АСУТП Михалицын В.Г. принял участие в совещаниях по роли концепции управления АЭС «Ханхикикви-1» (г. Хельсинки, Финляндия).

Командирование специалистов института за границу для выполнения совместных договорных работ (Китай, Финляндия)

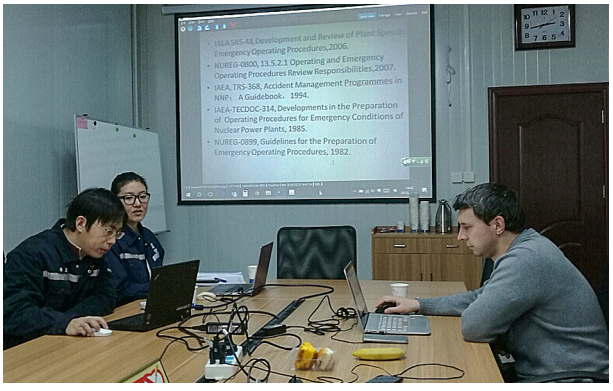
Для оказания консультационных услуг по верификации и валидации БЩУ Тяньваньской АЭС с 03 по 22 апреля начальник лаборатории Кудицкий Ю.Н., инженеры 1 кат. Григорьев М.С. и Батанина С.В. отдела главного конструктора АСУТП выезжали в Китай (г. Ляньюньган).

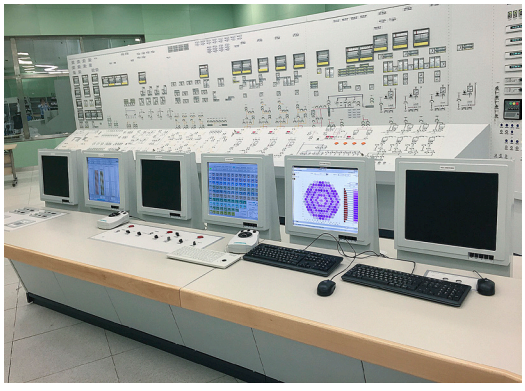
В рамках договора с АО «СНИИП» сотрудники отдела химико-технологических исследований: начальник группы Смирнов В.Д, начальник лаборатории Киреев В.Ф., начальник группы Козин М.И., ведущий инженер Иванов В.П. и инженер 2 кат. Гордеев Е.В. выезжали в Китай (г. Ляньюньган) для участия в пуско-наладочных работах оборудования АСРК Тяньваньской АЭС.

Для оказания инжиниринговых услуг на площадке Тяньваньской АЭС сотрудники отделения динамических исследований: начальник группы Щербина Б.И. и начальник группы Терских О.В. выезжали в Китай (г. Ляньюньган) с 05 по 23 июня.

Для выполнения работ по шеф-монтажу, пуско-наладке, вводу в эксплуатацию стенда УСПР зав. № 4 и поверке ВХЛТП-Р зав. № 7 сотрудники отдела химико-технологических исследований: начальник лаборатории Чистяков И.В., начальник группы Коленчикова И.К. и ведущий инженер Надеев А.В. выезжали в Индию (г. Вишакхапатнам) с 01 по 26 октября.

Сотрудники ОГК АСУТП (ФГУП "НИТИ им. А.П. Александрова") и СПб АЭП на Тяньваньской АЭС





Работа специалистов института по международным соглашениям и контрактам (Франция, Республика Беларусь)

01 июля 2016 года заключен контракт CORDEB 2 с институтом радиационной защиты ядерной безопасности «IRSN», Франция. Наименование контракта: «Изучение процессов в кориуме на различных стадиях формирования ванны расплава в корпусе реактора».

Срок действия до 31.05.2019.

В рамках работы по контракту CORDEB 2 во Францию переданы следующие отчётные материалы на английском языке:

1. Test report. Task CP1.

Study the peculiarities of a three-layer corium pool having a high oxidation degree (C-70).

Отчёт по экспериментам. Задача CP1. «Исследование особенностей существования 3х-слойной структуры ванны расплава кориума с высокой степенью окисленности (С-70)», на 106 л. Разрешение на информационный обмен № 026/2017 от 27.02.2017.

2. Test report. Task CP2 and CP3.

Отчёт по экспериментам. Задачи CP2 и CP3, на 103 л. Разрешение на информационный обмен № 131/2017 от 26.10.2017.

В работе по контракту участвуют 15 сотрудников ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

С 20 февраля 2015 г. заключен контракт с УП «Атомтех» (республика Беларусь). Наименование контракта «Участие в загрузке источников ионизирующего излучения и пуско-наладке установки дозиметрической гамма-излучения УДГ-АТ130 и установки поверочной нейтронного излучения УПН-АТ140 с загруженными источниками на территории конечного пользователя – войсковая часть 62695, Россия, г. Вилючинск, Камчатский край». Срок действия контракта до 30.12.2017.

С 20 июня 2017 г. заключен контракт с УП «Атомтех» (республика Беларусь). Наименование контракта «Поставка установки дозиметрической гамма-излучения УДГ-АТ110 (без источников гамма-излучения)». Срок действия контракта до 26.07.2017.

Организация и проведение встречи с иностранными специалистами

С 29 мая по 02 июня 2017 года проходила VIII научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы развития химического и радиохимического контроля в атомной энергетике «Атомэнергоаналитика–2017», в которой приняли участие два специалиста из республики Беларусь. Основанием для проведения конференции является «План проведения научных и научно-технических мероприятий Госкорпорации «Росатом» на 2017 год» (п. 23), утверждённый приказом Госкорпорации «Росатом» от 28.02.2017 № 1/183-П и приказ генерального директора ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» от 16.12.2016 № 16/1585-П.

21 сентября 2017 года состоялся визит иностранных специалистов на экспериментальную установку комплекса «РАСПЛАВ» в рамках контракта между НИТИ и IRSN # CA320003128. Во встрече принимали участие семь иностранных специалистов (пять специалистов из Франции, один специалист из Германии и один специалист из Швеции). Целью визита являлся контроль за выполнением работ по контракту и согласование технических деталей проведения экспериментов.

11.2 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	Информационно-консультационный семинар «Новые требования законодательства в области охраны окружающей среды»	ЧОУ «Экологический Учебный Центр»	1–4 квартал	Корзун Т.К
2	Информационно-консультационный семинар «Тарифное регулирование и ценообразование на рынках тепловой энергии»	ООО «УЦ Энерго-Решение» г. Москва	28 февраля	Каранкевич Ю.И. Бобкина С.П.
3	24-я Всероссийская серия из 4-х практических семинаров «Новый этап развития рынков электрической и тепловой энергии в 2017–2019»	ООО «УЦ Энерго-Решение» г. Москва	3–4 марта	Лукконен В.В.
4	IV Национальная практическая конференция «Внутренний контроль и аудит в России: новые перспективы и возможности»	ООО «КУМЦ АПР» г. Москва	28 февраля	Новикова Л.В.
5	8-ой отраслевой семинар-совещание (стратегическая сессия) «Цели и задачи деятельности по управлению качеством в ГК Роастом»	НОУ ДПО «ЦИПК Росатома» г. Обнинск	15–17 марта	Щипалкин О.Н.
6	Семинар-совещание «Новые технологии АСУ ТП АЭС» на тему «СВБУ-прошлое, настоящее и будущее» «Новые технологии АСУ ТП АЭС»	ФГБУН «ИПУ им. В.А. Трапезникова» г. Москва	21 марта	Батраков С.В.
7	Информационно-консультационный семинар «Изменения в законодательстве о земле, градостроительстве и недвижимости»	ООО «Мир семинаров» г. Санкт-Петербург	29–30 марта	Фирсов М.Г.
8	Ежегодный специализированный семинар «Технологии QNX и КПДА в России»	Комплекс «Измайлово Альфа» г. Москва	13 апреля	Ельшин М.А., Коновалов С.Д.

№ п/п	Название мероприятия	Организатор мероприятия. Место проведения	Дата проведения	Участники от НИТИ
9	Ежегодная Международная конференция «Пути решения задач обеспечения современной радиоэлектронной аппаратуры надежной электронной компонентной базой» «СЕРТИФИКАЦИЯ-2017»	ОАО РНИИ «Электростандарт» г. Санкт-Петербург	5–7 апреля	Ельшин М.А.
10	Информационно-консультационный семинар AUT 120. Среда разработки Unity Pro»	АО «Шнейдер Электрик» г. Москва	12–14 апреля	Ганжа С.А.
11	Юбилейная научно-техническая конференция АО «СНИИП»	АО «СНИИП» г. Москва	17–19 апреля	Даниленко В.П.
12	Научно-практическая конференция «Вклад Ленинградской АЭС и предприятий атомной отрасли г. Сосновый Бор в решение экологических вопросов Ленинградской области и Северо-Запада России»	Дом ученых им. М. Горького г. Санкт-Петербург	21 апреля	Ефимов А.А. Панкина Е.Б. Змитродан А.А.
13	Ежегодная конференция руководителей атомной отрасли	Корпоративная Академия «Росатома» г. Москва	20–21 апреля	Василенко В.А.
14	XIV научно-практическая конференция «Методы и средства технической защиты информации»	НОУ ДПО «ЦИПК» г. Обнинск	25–27 апреля	Кириков А.В. Куприков П.В. Звонцов А.В. Нехаев Д.В.
15	Семинар в рамках сотрудничества с французской компанией Электросите дэ Франс «Коды и виртуальная АЭС»	АО «Концерн Росэнергоатом» г. Москва	4–5 мая	Мигров Ю.А. Лялюев Д.В. Гудошников А.Н.
16	Семинар-совещание Фундаментальные проблемы кибербезопасности АСУ ТП АЭС»	ФГБУН «ИПУ им. В.А. Трапезникова» г. Москва	11 мая	Батраков С.В.
17	10-я Международная научно-техническая конференция «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР»	АО ОКБ «Гидропресс» г. Подольск	16–19 мая	Владимиров А.В. Румянцев С.Н. Чепилко С.С. Юдов Ю.В. Артёмов В.Г. Артёмова Л.М. Кузнецов А.Н. Гусев Б.А. Цапко Ю.В.

№ п/п	Название мероприятия	Организатор мероприятия. Место проведения	Дата проведения	Участники от НИТИ
18	VIII отраслевая конференция «Вопросы защиты информации в автоматизированных системах физической защиты»	ФГУП КЦ «Атом-безопасность» г. Санкт-Петербург	17–19 мая	Путятин В.А. Куприков П.В.
19	Отраслевой научно-практический семинар по охране окружающей среды и радиационной безопас-ности	АНО «Корпора-тивная Академия Росатома» г. Екатеринбург	15–19 мая	Лелявин А.Н. Руденко В.Л. Корноухов В.В.
20	Отраслевой научно-практический семинар по промышленной безопасности	НОУ ДПО «ЦИПК» г. Обнинск	23–24 мая	Солдаткин Л.С.
21	Конференция молодых специ-алистов «Инновации в атомной энергетике»	АО «НИКИЭТ» г. Москва	23–24 мая	Орлов С.Н.
22	III Всероссийская конференция «Аналитическая хроматография и капиллярный электрофорез»	ООО «НТЦ БиАСеп» г. Краснодар	21–27 мая	Цапко.Ю.В. Харитонова Е.Ю.
23	Научно-техническая конференция молодых специалистов «Инновации в атомной энергетике»	АО «НИКИЭТ» г. Москва	24–25 мая	Орлов С.Н.
24	Семинар по бухгалтерскому учёту «Затраты на оплату труда как осно-ва формирования цены государ-ственного контракта в рамках ГОЗ»	ООО «НИЦ ОПК Северо-Запад» г. Санкт-Петербург	24–25 мая	Политова Ю.А.
25	Международная конференция «Ионный транспорт в органических и неорганических мембранах»	ООО «ИП «Мембранная технология»	23–28 мая	Яснев И.М.
26	Конференция руководителей подразделений по управлению персоналом предприятий ЯОК	АНО «Корпора-тивная Академия Росатом»	25–27 мая	Муцын Л.Б.
27	Экспертно-консультационный семинар «Контроль в сфере ГОЗ»	ООО «Мир семинаров» г. Москва	31 мая – 01 июня	Зарубина Т.В.
28	Семинар «Экспортный контроль в ГК «Росатом»:вызовы, пути развития»	НОУ ДПО «ЦИПК Росатома» г. Обнинск	30 мая – 01 июня	Крюков Ю.В.
29	VII научно-практическая кон-ференция молодых ученых и специалистов атомной отрасли «Команда»	АО «Атомпроект» г. Санкт-Петербург	05–09 июня	Павлюк А.И.

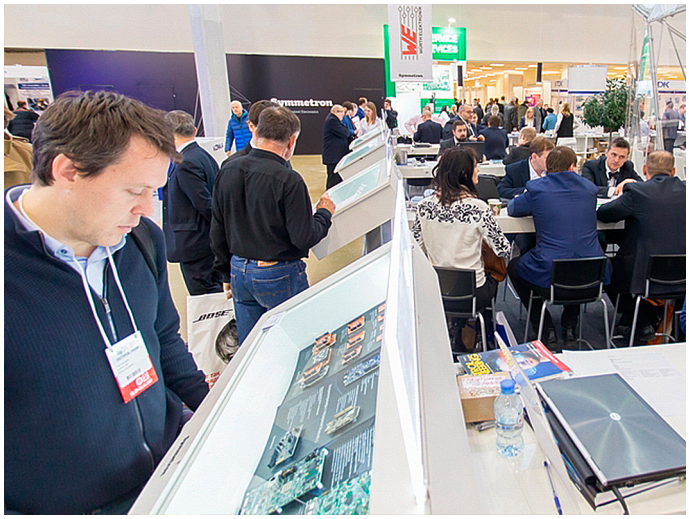
№ п/п	Название мероприятия	Организатор мероприятия. Место проведения	Дата проведения	Участники от НИТИ
30	Отраслевой научно-технический семинар «Система управления безопасностью при использовании атомной энергии в оборонных целях»	АО ОКБМ «Африкантов» г. Нижний Новгород	05–09 июня	Иванов А.А. Котенков И.В. Иорданский М.Ю.
31	IX Международный форум «АТОМЭКСПО 2017» Внутренний контроль и аудит в системе управления компанией»	ГК «Росатом»	19 июня	Новикова Л.В.
32	Конференция МАГАТЭ по реакторам на быстрых нейтронах	АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» г. Екатеринбур	26–29 июня	Даниленко В.П.
33	Отраслевая конференция для HR-директоров по кадровому приоритету: «Повышение удовлетворенности бизнеса работой HR-службы»	ГК «Росатом» г. Нижний Новгород	28–29 июня	Муцын Л.Б.
34	Научно-практическая конференция « Петербургские коллегиальные чтения-2017»	РОО «Санкт-Петербургская коллегия патентных поверенных»	28–30 июня	Мацаева О.Н.
35	XVIII Всероссийская научно-практическая конференция МОРИНТЕХ-ПРАКТИК «Информационные технологии в судостроении –2017»	ОАО СЗ «Северная верфь» г. Санкт-Петербург	28 июня	Деменик В.Л. Денишенко Д.М. Бекиш Д.А. Костров И.А.
36	Ежегодная профессиональная техническая конференция по базам данных	ООО «Пи Джи Дэй» г. Санкт-Петербург	5–7 июля	Стельмашук Д.А.

Конференция МАГАТЭ по быстрым реакторам FR17 г. Екатеринбург

№ п/п	Название мероприятия	Организатор мероприятия. Место проведения	Дата проведения	Участники от НИТИ
37	Семинар «Система менеджмента качества организаций ОПК»	ФГУП ВНИИ стандартизации оборонной продукции и технологий» г. Москва	26 июля	Порядин В.Н.
39	Первый отраслевой Форум-диалог «День безопасности атомной энергетики и промышленности»	ГК «Росатом» г. Москва	14 сентября	Иванов А.А.
40	Участие в семинаре «Обучение работе в ИСУП ФАИП»	НОУ ДПО «ЦИПК Росатома» г. Обнинск	9–20 сентября	Кропотова И.В. Симоненко Н.Д. Лоренц Д.В. Самохвалова Е.Б. Кочетова Г.С.
41	Участие в НТК «Метрология физико-химических измерений»	ООО «Навитест» Московская обл.	20–22 сентября	Мельниченко А.Н. Прохоркина О.В.
42	Участие в семинаре-консультации «Изменение ценовой политики и новый порядок расчётов в ГОЗ»	ООО «МЦРпК» г. Москва	25–26 сентября	Чумаков Д.В.
43	Участие в семинаре «Методы измерения шума и вибрации»	ООО «Алгоритм-Акустик» г. Санкт-Петербург	25–29 сентября	Рудых Е.А.
44	Участие в семинаре «Реформирование системы государственного регулирования цен на продукцию, поставляемую по ГОЗ»	ООО «НИЦ ОПК» г. Санкт-Петербург	27–28 сентября	Зарубина Т. В.
45	Участие в круглом столе на тему: «По проблемам судебной патентоведческой экспертизы»	МОО «ППП» г. Москва	27 сентября	Мацаева О.Н.
46	Участие в XIV Международном совещании «Проблемы прикладной спектрометрии и радиометрии»	НОЧУ ДПО «ЭкоСфера» г. Москва	4–6 октября	Баев М.Н.
47	Участие в конференции «ГОЗ: казначейское сопровождение, измененния в 275-ФЗ и КоАП РФ»	ООО «Дифанс Медиа» г. Санкт-Петербург	6 октября	Барцагова И.Г.
48	Международная научно-практическая конференция «Безопасность, эффективность, ресурс»	ООО НПО «Форт» г. Севастополь	02–07 октября	Шалаев Ю.Г. Кузнецов В.Н. Артёмова Л.М. АртёмовВ.Г. Юдов Ю.В. Грицай А.С.

№ п/п	Название мероприятия	Организатор мероприятия. Место проведения	Дата проведения	Участники от НИТИ
49	Участие в Третьем съезде аналитиков России	ООО «Невер Слип Туроператор» г. Москва	8–13 октября	Гурский В.С. Горшков А.И.
50	Участие в семинаре «Управление затратами на качество на предприятиях Росатома»	НОУ ДПО «ЦИПК Росатом»	9 октября	Щипалкин О.Н.
51	XX1 Международная конференция Роспатента «Интеллектуальная собственность в инновационной экономике»	ФГБУ «ФИПС» г. Москва	11–12 октября	Мацаева О.Н.
52	Отраслевая сессия «Выполнение отраслевых требований и стандартов по информационной безопасности»	НОУ ДПО «ЦИПК Росатома» г. Обнинск	17–19 октября	Куприков П.В.
53	Участие в семинаре «Обучение работе в ИСУП ФАИП»	НОУ ДПО «ЦИПК Росатома» г. Обнинск	17–18 октября	Додонова Т.Л. Васильева А.М.
54	Межотраслевая научно-практическая конференция посвященная ключевым вопросам кораблестроения России «ВОКОР-2017»	ВМФ ВУНЦ ВМА г. Санкт-Петербург	25–27 октября	Иванов А.А. Котенков И.В. Руденко В.Л. Гаврилов А.Е. Корноухов В.В.
55	Конференция «VeeamON Forum Russia 2017» объединяет ведущих ИТ-спциалистов и визионеров новых технологий со всей страны	Veeam Availability г. Москва	26 октября	Костров И.А.
56	Участие в Международной выставке по электронике, компонентам, оборудованию и технологиям «ChipEXPO-2017»	ЗАО «ЧипЭкспо» г. Москва	31 октября по 2 ноября	Зуйков А.В. Шинкаренко В.А.
57	XXIV ежегодный Международный семинар «Спектрометрический анализ. Аппаратура и обработка данных на ПЭВМ»	АНО ДПО «Техническая академия Росатом» г. Москва	20–24 ноября	Фоменков Р.В. Нагишев В.А.
58	Обучающий курс «Нововведение в АСУИА»	АНО «Корпоративная Академия» г. Москва	28 ноября	Чистюхина Н.А.

№ п/п	Название мероприятия	Организатор мероприятия. Место проведения	Дата проведения	Участники от НИТИ
59	Участие в семинаре на тему: «Комплексы государственных военных стандартов «Климат-7, «Мороз-6», «Мороз-7»	ФГУП «ВНИИ стандартизации оборонной продукции и технологий» г. Москва	13–15 ноября	Зуйков А.В.
60	Участие в отраслевой конференции работников ведомственных архивов и архивов ГК «Росатом»	ЧУ «Центрато-мархив» г. Москва	14–15 ноября	Заритовская Е.Г.
61	Участие в Конгрессе профессиональных бухгалтеров и аудиторов	НП «ИПБ России» г. Москва	28–29 ноября	Новикова Л.В.
62	VIII Международный турнир естественных наук	ФГБУ «СПБГУ» г. Санкт-Петербург	14–18 ноября	Орлов С.Н.
63	Участие в научно-технической конференции «Материалы ядерной техники (МАЯТ-2017)	ГК «Росатом» АО «ВНИИНМ им. А.А. Бочвара» г. Москва	28–29 ноября	Альмяшев В.И.
64	Участие в ежегодном семинаре для специалистов служб автоматизации и метрологических служб атомных электростанций, предприятий ядерного топливного цикла, проектных и научно-исследовательских организаций	ООО НПП «Элемер» г. Москва	28–30 ноября	Жуков В.Д. Черный О.Д.



Международная выставка по электронике, компонентам, оборудованию и технологиям «ChipEXPO-2017»

№ п/п	Название мероприятия	Организатор мероприятия. Место проведения	Дата проведения	Участники от НИТИ
65	Научно-техническая конференция «Нейтроника-2017»	АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» г. Обнинск	29 ноября по 1 декабря	Ельшин А.В. Жуковский Д.Н. Карпов А.С. Кузнецов А.Н.
66	Участие в семинаре-совещании «Правила казначейского сопровождения средств в валюте РФ в случаях, предусмотренных Федеральным законом «О федеральном бюджете на 2018 год и плановый период 2019–2020»	Минфин России и Федеральное казначейство г. Москва	6 декабря	Барцагова И.Г.
67	Участие в конференции «Гособоронзаказ-2018. Ценообразование, финансовый мониторинг, госконтроль»	ООО «Дифанс Медиа» г. Санкт-Петербург	11 декабря	Зарубина Т.В.
68	Участие в семинаре «Налогообложение и бухгалтерский учёт в 2017–2018 г. Важнейшие изменения и перспективы развития»	ООО «ИНСЭИ» г. Санкт-Петербург	18–19 декабря	Орлова А.Ю. Ярошенко А.В.
69	Участие в семинаре	ФГУП «ВНИИ стандартизации оборонной продукции и технологий» г. Москва	19–20 декабря	Корчагина Е.Ф.

Конференция «Гособоронзаказ-2018. г. Санкт-Петербург

Совещание главных инженеров предприятий ЯОК

С 25 по 27 апреля 2017 состоялось Совещание главных инженеров предприятий ЯОК Госкорпорации «Росатом» – организаций, курируемых первым заместителем генерального директора – директором Дирекции по ЯОК И.М. Каменских. Организатор и принимающая сторона мероприятия – ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

Повестка совещания – О подготовке Федеральной целевой программы «РЯОК-2030».

В работе приняли участие руководители и ведущие специалисты 21 предприятия ЯОК. В ходе мероприятия прозвучало более 30 докладов и сообщений участников. В них представлены работы 2016 года и их перспективы по поддержанию и развитию научно-испытательной и производственно-технологической базы предприятий. Участники совещания посетили тренажёрную базу и производственные площадки ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

По результатам работы совещания приняты решения, направленные на развитие предприятий ЯОК Госкорпорации «Росатом».

ПРЕДПРИЯТИЯ-УЧАСТНИКИ СОВЕЩАНИЯ

ДР НПБ ЯОК
ДЯРБ ОЛРД ГК «Росатом»
ФГУП «Комбинат «Электрохимприбор»
ФГУП «ПСЗ»
АО «ФЦНиВТ «СНПО «Элерон»
НТЦ Транссвязьбезопасность»
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ»
ФГУП «ВНИИА»
ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»
ФГУП ФНПЦ «ПО «Старт» им. М.В. Проценко»
ФГУП «ПО «Маяк»
ФГУП «Базальт»
ФГУП ПО «Север»
АО «НИКИЭТ»
АО «Красная Звезда»
ФГУП «Атомфлот»
ФГУП «УЭМЗ»
ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»
АО «НИИЭФА»

УЧАСТНИКИ СОВЕЩАНИЯ

Шевченко Андрей Борисович	Директор ДР НПБ ЯОК Госкорпорации «Росатом»
Островский Сергей Адамович	Главный специалист ДЯРБ ГК «Росатом»
Тарасов Алексей Алексеевич	Начальник отдела ДР НПБ ЯОК ГК «Росатом»
Дженжеруха Андрей Витальевич	Главный инженер ФГУП «Комбинат «Электрохимприбор»
Варданян Анатолий Арташевич	Главный инженер ФГУП «ПСЗ»
Кушников Владимир Константинович	Технический директор АО «ФЦНиВТ «СНПО «Элерон»
Микитенко Михаил Андреевич	Заместитель директора НТЦ Транссвязьбезопасность»
Мусин Игорь Зейнурович	Главный инженер ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
Знаменский Владимир Валерьевич	Главный инженер ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ»
Жердочкин Семен Семенович	Главный инженер-начальник производства ФГУП «ВНИИА»
Белоконь Игорь Николаевич	Начальник отделения ФГУП «ВНИИА»
Воропаев Артем Владимирович	Главный инженер ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»
Кондратьев Геннадий Владимирович	Главный инженер ФГУП ФНПЦ «ПО «Старт» им. М.В. Проценко»
Шарабрин Сергей Владимирович	Заместитель главного инженера – главный физик ФГУП «ПО «Маяк»
Мыцыков Анатолий Васильевич	Главный инженер ФГУП «Базальт»
Сорока Василий Николаевич	Зам. генерального директора – технический директор ФГУП ПО «Север»
Факеев Павел Иванович	Зам. генерального директора – главный инженер АО «НИКИЭТ»
Лебедев Сергей Иванович	Начальник отдела АО «НИКИЭТ»
Уренский Николай Александрович	Главный инженер АО «Красная Звезда»
Белоусов Валентин Геннадьевич	Главный инженер ФГУП «УЭМЗ»
Иванов Александр Александрович	Главный инженер ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»
Котенков Игорь Вячеславович	Заместитель главного инженера ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»
Родин Игорь Юрьевич	Начальник отдела АО «НИИЭФА»

Рабочая встреча в кабинете главного инженера института

Посещение стенда-прототипа транспортной ЯЭУ

Восьмая межотраслевая научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы развития химического и радиохимического контроля в атомной энергетике»

АТОМЭНЕРГОАНАЛИТИКА – 2017

В соответствии с планом проведения научно-технических мероприятий Госкорпорации «РОСАТОМ» на 2017 год в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в период с 30 мая по 01 июня организована и проведена восьмая научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы развития химического и радиохимического контроля в атомной энергетике» (АТОМЭНЕРГОАНАЛИТИКА – 2017). В работе конференции приняли участие 127 специалистов из 40 научных, конструкторских, проектных организаций, эксплуатирующих предприятий, учреждений высшего образования, организаций разработчиков и поставщиков аналитического оборудования, в том числе:

- ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» (г. Сосновый Бор);
- Институт химии Санкт-Петербургского государственного университета (г. Санкт-Петербург);
- АО «ОКБМ Африкантов» (г. Нижний Новгород»);
- АО «НИКИЭТ» (г. Москва);
- ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт» (г. Москва);
- АО «ГНЦ НИИАР» (г. Димитровград);
- АО «ВНИИАЭС» (г. Москва);
- ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» (г. Санкт-Петербург);
- ФГБУ «ПИЯФ им. Б.П. Константинова» (НИЦ «Курчатовский институт») (г. Гатчина);
- АО «Атомпроект» (г. Санкт-Петербург);
- АО «Атомэнергопроект» (г. Москва);
- Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» Курская атомная станция (г. Курчатов);
- Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» Нововоронежская атомная станция (г. Нововоронеж);
- АО «Атомтехэнерго» (г. Смоленск);
- АО «НИИТФА» (г. Москва);
- АО «СНИИП» (г. Москва);
- НПО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» (г. Санкт-Петербург);
- СПбО ИГЭ РАН (г. Санкт-Петербург);
- Санкт-Петербургское отделение Института геологии РАН им. И.Е. Сергеева (г. Санкт-Петербург);
- Институт наук о Земле СПбГУ (г. Санкт-Петербург);
- ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси (г. Минск);
- ЗАО «НПП «Автоматика» (г. Владимир);

- ЗАО «Аквилон» (г. Москва);
- ЗАО «Спецхиммонтаж» (г. Сосновый Бор);
- ООО ПО «Токем» (г. Кемерово);
- ООО «ТД Токем» (г. Москва);
- ООО «НПП «Техноприбор» (г. Москва);
- ООО «НТФ «Вольта» (г. Санкт-Петербург»);
- ООО «Спектрон» (г. Санкт-Петербург);
- ООО «Сенсорные системы» (г. Санкт-Петербург»);
- ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет им. В.И.Ленина» (г. Иваново);
- ООО «НПВФ «Промышленная электроника» (г. Фрязино, Московская область);
- ФГУП «Горно-химический комбинат» (г. Железногорск);
- АО ИК «АСЭ» (г. Нижний Новгород);
- ОАО «Гидрометаллургический завод» (г. Москва);
- ФГУП «ПО «Маяк» (г. Озёрск);
- ООО «ВЗОР» (г. Нижний Новгород);
- АО «НПК «Медиана-фильтр» (г. Москва);
- ЗАО «Приборы» (г. Москва);
- ООО «Портлаб» (г. Москва).

На конференции было представлено 55 устных и 32 стендовых докладов по следующим актуальным тематическим направлениям:

1. Химический и радиохимический контроль на объектах атомной энергетики, включая методическое и метрологическое обеспечение.
2. Химические технологии и результаты эксплуатации объектов атомной энергетики.
3. Радиоэкологический контроль и технологии обращения с радиоактивными отходами (РАО).

Прошедшее в рамках конференции обсуждение подтвердило актуальность тематики докладов участников и предложений, связанных с обеспечением безопасной эксплуатации и повышением надежности и ресурса оборудования объектов атомной энергетики за счет дальнейшего совершенствования единой отраслевой технической политики в части:

- оптимизации и унификации методов и средств аналитического контроля состава технологических сред и объектов окружающей среды;
- создания адекватных решаемым задачам стандартных образцов и рабочих эталонов;
- разработки проектных решений по организации и уровню автоматизации систем аналитического контроля, коррозионного мониторинга;
- повышения требований к квалификации аналитического и технологического персонала химических цехов и служб эксплуатирующих организаций.

Работа конференции завершилась принятием итогового документа – Решения, направленного на дальнейшее совершенствование и повышение уровня аналитического контроля в атомной энергетике.

Выступление доктора химических наук, профессора Л.Н. Москвина с докладом

11.3 Научно-технические издания, публикации

В соответствии с планом работ на 2017 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 2016 – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2016. – 310 с.

Тринадцатое официальное издание годового отчёта ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» включает в себя основные результаты научно-технической и производственной деятельности института за 2016 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 (7) – Санкт-Петербург: ООО Издательство «ВВМ», 2017. – 80 с.

Согласно Указу Президента Российской Федерации от 05.01.2016 года «В целях привлечения внимания общества к вопросам экологического развития, сохранения биологического разнообразия и обеспечения экологической безопасности…» 2017 год объявлен в России Годом экологии. В этой связи в выпусках Сборника в рамках соответствующих тематических рубрик будут представлены статьи и сообщения, имеющие значимую экологическую актуальность, приуроченные к проведению Года экологии в России.

В рубрике «Стендовые испытания транспортных ЯЭУ» публикуется статья «Технология вывода из эксплуатации ЯЭУ стенда-прототипа ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова» с описанием комплекса работ по подготовке к выводу из эксплуатации и созданию технологии вывода из эксплуатации стенда-прототипа транспортной ЯЭУ, а также с описанием особенностей выполнения данного комплекса работ для ядерно и радиационно опасного объекта военного назначения.

В рубрике «Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ» представлены статьи «Анализ результатов показаний турбинных расходомеров при нестабильной циркуляции теплоносителя в реакторе транспортного типа» и «Анализ аварий с потерей теплоносителя по кодам КОРСАР/BR и RELAP/SCDAPSIM/MOD3.4 на установке РИТМ-200 при подключении пассивных систем безопасности» с результатами, актуальными для проектирования реакторных установок новых поколений, верификации расчётных кодов моделирования теплогидравлических процессов транспортных ЯЭУ и прогнозирования развития аварий с потерей теплоносителя первого контура для реакторной установки, разработанной для универсального атомного ледокола.

В рубрике «Влияние объектов атомной энергетики на окружающую среду» представлена статья «Модернизация сети наблюдательных

скважин для объектного мониторинга состояния недр на территории ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова» с результатами работ по созданию полноценной наблюдательной сети объектного мониторинга состояния недр и результатами оценки состояния подземной гидросферы на территории НИТИ перед вводом в эксплуатацию энергоблоков Ленинградской АЭС, сооружаемых в непосредственной близости от промплощадки НИТИ.

В рубрике «Исследование процессов при тяжёлых авариях на объектах атомной энергетики» представлена статья «Исследование физико-химических, теплофизических и механических характеристик серпентинитового бетона шахты реактора АЭС и процессов его взаимодействия с расплавом кориума» с результатами экспериментальных исследований свойств серпентинитового бетона шахты реактора ВВЭР в условиях тяжёлой аварии АЭС с плавлением активной зоны и поступлением расплава кориума в шахту реактора. Представленные в статье результаты актуальны для разработки мероприятий по минимизации последствий тяжёлых аварий на энергоблоках АЭС с ВВЭР и BWR, не оснащенных устройствами локализации расплава активной зоны.

Вып. № 2 (8) - Санкт-Петербург: ООО Издательство «ВВМ», 2017. - 77 с.

В восьмом выпуске периодического рецензируемого научно-технического сборника «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок» в рубрике «Дискуссионные вопросы развития атомной энергетики» редакция публикует статью «Каким хотелось бы видеть энергоблок с ВВЭР средней мощности» с анализом перспектив создания энергоблока с ВВЭР средней мощности, в том числе на основе прогрессивных технических решений, получивших широкую апробацию в корабельной ядерной энергетике.

В рубрике «Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ» представлена статья «Применение потвэльной нейтронно-физической и теплогидравлической модели для исследования температурного состояния твэлов в аварийных режимах реакторных установок» с демонстрацией возможностей реалистического моделирования процессов в РУ с использованием комплекса программ САПФИР-КОРСАР – единственного на сегодняшний день аттестованного в Российской Федерации комплекса программ для сопряженных нейтронно-физического и теплогидравлического расчётов транспортных реакторов.

В рубрике «Технологии создания систем контроля и управления ЯЭУ» вниманию читателей предлагается статья «Технология проектирования и отладки программного обеспечения системы управления стендовой ЯЭУ с использованием инструментально-программных комплексов моделирования» с описанием сквозной технологии проектирования и отладки программного обеспечения системы управле-

ния стендовой ЯЭУ, основанной на применении инструментально-программных комплексов моделирования, начиная с этапа разработки алгоритмов функционирования и заканчивая процессом отладки на полигоне функционально-самостоятельных комплектов аппаратуры в режиме тестовой эксплуатации.

В рубрике «Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования» публикуется статья «Методические и метрологические аспекты обеспечения ионохроматографического определения микроконцентраций аналитов» с результатами, актуальными для метрологического обеспечения ионохроматографических методик контроля качества водных технологических сред объектов с ЯЭУ.

Продолжая публикацию статей, приуроченных к Году экологии в России, в рубрике «Влияние объектов атомной энергетики на окружающую среду» представлена статья «Экологически сбалансированные химические и радиохимические технологии в атомной энергетике» с результатами анализа новых направлений повышения надежности барьеров безопасности ЯЭУ и создания на их основе адекватных систем, методов и средств контроля функционирования и радиоэкологического воздействия ЯЭУ на окружающую среду.

В рубрике «Исследование процессов при тяжёлых авариях на объектах атомной энергетики» представлена статья «Влияние излучения на пленочное кипение в большом объёме» с результатами теоретических исследований, актуальных для математического моделирования ряда теплофизических процессов, включая моделирование аварийных процессов на АЭС.

В рубрике «Информационные сообщения» размещено краткое информационное сообщение об устройстве деоксигенации воды высокой чистоты УД ВВЧ-500, разработанном в НИТИ. Устройство может применяться при приготовлении обескислороженной воды высокой чистоты для первичного заполнения и подпитки водных технологических контуров ЯЭУ.

Вып. № 3 (9) - Санкт-Петербург: ООО Издательство «ВВМ», 2017. - 80 с.

В девятом выпуске периодического рецензируемого научно-технического сборника «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок» в рубрике «Исследование динамики и создание технологии испытаний объектов с ЯЭУ» публикуется статья «Анализ и интерпретация результатов испытаний оборудования паротурбинной установки» с результатами позитивного опыта использования расчётного моделирования в процессе проведения испытаний оборудования ПТУ на специализированных стендах завода изготовителя.

В рубрике «Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ» представлена статья

«Результаты верификации комплекса программ САПФИР_95&RC при моделировании экспериментов на критическом стенде «АКСАМИТ» с результатами верификации комплекса программ САПФИР_95&RC, полученными при моделировании экспериментов, выполненных на критическом стенде «АКСАМИТ» с малогабаритным реактором на быстрых нейтронах с высокообогащенным топливом.

В рубрике «Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования» публикуются статьи «Направленное регулирование структуры и защитных свойств оксидных пленок, образующихся на поверхности сталей при контакте с водными средами» и «Ионообменные смолы как источник примесных органических соединений» с результатами, актуальными для повышения коррозионной стойкости, продления ресурса оборудования и оптимизации водно-химических режимов технологических контуров атомных и тепловых энергетических установок.

В рубрике «Исследование процессов при тяжёлых авариях на объектах атомной энергетики» представлена статья «Экспериментальное исследование фазообразования в системе UO_2–SiO_2». Опубликованные в статье данные актуальны для повышения точности прогнозирования сценариев внекорпусной стадии тяжёлой аварии на АЭС, а также для разработки новых материалов атомной энергетики, в том числе ядерного топлива.

В рубрике «Информационные сообщения» размещено информационное сообщение «Экспериментальные исследования возможности эксплуатации паропроизводящих установок ЯЭУ транспортного типа при разгерметизации системы компенсации давления первого контура».

В сообщении приведены результаты экспериментальных исследований по эксплуатации паропроизводящей установки стенда-прототипа транспортной ЯЭУ с реактором водо-водяного типа при разгерметизации системы компенсации давления первого контура. Полученные результаты актуальны для обоснования возможности эксплуатации паропроизводящих установок транспортных ЯЭУ при разгерметизации системы компенсации давления первого контура и расширения границ использования паропроизводящих установок, действующих АПЛ ВМФ и атомных надводных кораблей.

Вып. № 4 (10) - Санкт-Петербург: ООО Издательство «ВВМ», 2017. - 97 с.

В рубрике «Стендовые испытания транспортных ЯЭУ» публикуется статья «Перспективы продолжения испытаний ядерной энергетической установки на стенде-прототипе КВ-1 в 2017–2019 годах» с результатами анализа отечественного и зарубежного опыта планирования и выполнения работ по созданию основного оборудования корабельных ядерных энергетических установок (ЯЭУ). В статье приведены данные, подтверждающие актуальность стендовой отработки комплексов ЯЭУ

для решения задач снижения технического риска использования оборудования ЯЭУ в составе кораблей и получения уникальной информации для подтверждения работоспособности и энергоресурса активных зон строящихся перспективных ЯЭУ.

В рубрике «Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ» представлена статья «Оценка влияния неопределённости эффективной температуры твэла на результаты моделирования реактивностных аварий с использованием сопряженных нейтронно-физических и теплогидравлических моделей» с анализом чувствительности результатов расчётов к неопределённостям модели твэла, связанным с неравномерностью распределения температуры по сечению сердечника в твэлах ВВЭР. Представленные в статье результаты актуальны при проведении расчётных исследований реактивностных аварий методом анализа неопределённостей и чувствительности.

В рубрике «Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования» редакция начинает публикацию статей, подготовленных на основе докладов участников межотраслевой научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития химического и радиохимического контроля в атомной энергетике «Атомэнергоаналитика – 2017». Конференция проводилась с 29 мая по 02 июня 2017 года в городе Сосновый Бор Ленинградской области на базе ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова» в соответствии с планом научно-технических мероприятий Госкорпорации «Росатом».

В рубрике публикуются статьи «Модель коррозии циркониевых сплавов в водном теплоносителе ВВЭР при нормальной эксплуатации» с результатами разработки расчётного метода моделирования кинетики коррозии циркониевых сплавов в водных теплоносителях АЭС при нормальной эксплуатации и «Контроль герметичности корпуса реактора ПИК на основе мониторинга содержания дейтерия в тяжёлой воде контура жидкостного регулирования» с результатами разработки нового метода обнаружения сквозных трещин в корпусе ядерного исследовательского нейтронного реактора ПИК.

Завершая серию публикаций, приуроченных к Году экологии в России, в рубрике «Влияние объектов атомной энергетики на окружающую среду» представлена статья «Экспериментальное изучение сорбции радионуклидов в трещиноватых породах и расчёт фактора сорбционной задержки при их миграции», с результатами оценки влияния сорбционных свойств трещиноватых горных пород на процессы переноса радиоактивных компонентов в условиях планируемого глубинного захоронения радиоактивных отходов.

В рубрике «Исследование процессов при тяжёлых авариях на объектах атомной энергетики» представлена статья «Экспериментальное

исследование процессов окисления 8 ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЯЭУ / № 4 (10) / 2017 расплава кориума в корпусе реактора» с результатами экспериментальных исследований, актуальными для анализа и обоснования возможности удержания расплава кориума в корпусе реактора на АЭС.

В рубрике «Информационные сообщения» представлено информационное сообщение о создании системы анализа растворенных газов на основе метода жидкостно-газовой хроматографии с использованием портативного газового хроматографа «Хроматэк-Газохром 2000», актуальной для решения задач химико-технологического контроля на объектах атомной энергетики.

В рубрике «Информация для авторов» приведены ссылки на Правила подготовки и подачи материалов в редакцию для публикации в научно-техническом сборнике «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок».

Периодическое издание

ОТЧЁТ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Информационно-статистическое издание

УДК-621.039.577.056

ББК-31.46

Отчёт по экологической безопасности за 2016 – Сосновый Бор:

ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – 64 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. Автоматизированный анализ растворенных в воде газов с использованием хроматографа «ХРОМАТЭК-ГАЗОХРОМ 2000» / *А.И. Горшков, Е.Е. Щербаков, О.В. Прохоркина, А.Н. Мельниченко, А.А. Амосов*// Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – №4(10). – С. 85-91.
2. Анализ и интерпритация результатов испытаний оборудования паротурбинной установки / *В.С. Грановский, В.К. Ефимов, И.В. Костров, В.С. Погорелов* // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017.– №3 (9). – С. 8-17.
3. *Бурсук В.И.* Перспективы продолжения испытаний ядерной энергетической установки на стенде-прототипе КВ-1 в 2017–2018 годах / *В.И. Бурсук* (Министерство обороны Российской Федерации (ВМФ), В.А. Василенко (ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»), *С.А. Петров* (НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ) // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – № 4(10). – С. 9-17.
4. *Гурский В.С.* Ионообменные смолы как источник примесных органических соединений / *В.С. Гурский, Е.Ю. Харитонова, Ю.В. Цапко* // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – № 3(9). – С. 44-49.
5. *Гурский В.С.* Методические и метрологические аспекты обеспечения ионохроматографического определения микроконцентраций аналитов / *В.С. Гурский, Е.Ю. Харитонова* // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – № 2(8). – С. 39-48.
6. *Зимаков В.Н.* Анализ результатов показаний турбинных расходомеров при нестабильной циркуляции теплоносителя в реакторе транспортного типа / *В.Н. Зимаков, А.Ю. Коновалова, Г.А. Погребной* // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – №1(7). – С. 20-28.
7. Исследование и устранение причин задержек передачи информации в системе управления / *А.В. Кутьин, Ю.Л. Лукашев, А.Н. Скрипачев, В.П. Талалаев* // Системы управления и обработки информации: н-т сборник. – Санкт-Петербург: Акционерное общество «Концерн «Научно-производственное объединение «Аврора», 2017. – № 3(38). – С. 15-22.
8. Исследование физико-химических, теплофизических и механических характеристик серпентинитового бетона шахты реактора АЭС и процессов его взаимодействия с расплавом кориума / *В.Б. Хабенский, В.И. Альмяшев, С.А. Витоль, Е.В. Крушинов, А.А. Сулацкий, С.Ю. Котова* (ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова), *А.А. Комлев* (Королевский технологический институт), *В.В. Гусаров* (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН) // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – № 1(7). – С. 56-74.

9. Оценка влияния неопределённости эффективной температуры твэла на результаты моделирования реактивностных аварий с использованием сопряженных нейтронно-физических и теплогидравлических моделей / *В.Г. Артёмов, Л.М. Артёмова, А.С. Иванов, В.Г. Коротаев* // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – № 4(10). – С. 18-28.

10. *Панкина Е.Б.* Модернизация сети наблюдательных скважин для объектного мониторинга состояния недр на территории ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» /*Е.Б. Панкина, М.П. Глухова* (ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова), *И.Ю. Кудрявцев* (ООО «ИнжСтройКапитал») // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – № 1(7). – С. 41-55.

11. Применение потвэльной нейтронно-физической и теплогидравлической модели для исследования температурного состояния твэлов в аварийных режимах реакторных установок / *В.Г. Артёмов, Л.М. Артёмова, В.Г. Коротаев, П.А. Михеев* // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – № 2(8). – С. 15-26.

12. *Пыхтеев О.Ю.* Направленное регулирование структуры и защитных свойств оксидных пленок, образующихся на поверхности сталей при контакте с водными средами / *О.Ю. Пыхтеев, А.А. Ефимов* (ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова), *Л.Н. Москвин* (ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии) // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – № 3(9). – С. 26-43.

13. Результаты верификации комплекса программ САПФИР_95&RC при моделировании экспериментов на критическом стенде «АКСАМИТ» / *В.Г. Артёмов, А.С. Иванов, Р.Э. Зинатуллин, А.С. Карпов* // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – № 3(9). – С. 18-25.

14. *Соколов В.Ю.* Технология вывода из эксплуатации ЯЭУ стенда-прототипа ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» / *В.Ю. Соколов, В.И. Грачев, М.Ю. Иорданский* // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – № 1(7). – С. 8-19.

15. Технология проектирования и отладки программного обеспечения системы управления стендовой ЯЭУ с использованием инструментально-программных комплексов моделирования / *С.В. Батраков, Е.И. Дербуков, В.А. Ефимов, Т.В. Романова, В.А. Чернего, В.П. Черных, А.А. Шаленинов* // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – № 2(8). – С. 26-38.

16. Устройство диоксигенации воды высокой чистоты УД ВВЧ-500 / *И.М. Яснев, В.С. Гурский, А.П. Домбровский, Н.Б. Вишнякова* // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – № 2(8). – С. 71-75.

17. *Хабенский В.Б.* Влияние излучения на теплообмен при пленочном кипении в большом объёме / *В.Б. Хабенский, А.А. Сулацкий, В.С. Грановский* // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – № 2(8). – С. 64-70.

18. Экологически сбалансированные химические и радиохимические технологии в атомной энергетике / *Л.Н. Москвин* (ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии), *А.А. Ефимов, Е.Б. Панкина, В.Н. Епимахов* (ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова») // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – № 2(8). – С. 49-63.

19. Экспериментальное изучение сорбции радионуклидов в трещиноватых породах и расчёт фактора сорбционной задержки при их миграции / *К.Б. Розов, В.Г. Румынин, А.М. Никуленков* (Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии РАН им. Е.М. Сергеева), *Е.Б. Панкина, М.П. Глухова, Н.В. Черноморова* (ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова») // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – № 4(10). – С. 48-58.

20. Экспериментальное исследование процессов окисления расплава кориума в корпусе реактора / *В.И. Альмяшев, В.С. Грановский, В.Б. Хабенский, Е.В. Крушинов, А.А. Сулацкий, С.А. Витоль* (ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»), *В.В. Гусаров* (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН), *С.В. Бешта* (Королевский технологический институт) // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – № 4(10). – С. 59-84.

21. Экспериментальное исследование фазообразования в системе UO_2–SiO_2 / *В.И. Альмяшев* (ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»), *С.В. Бешта* (Королевский технологический институт), *С.А. Витоль* (ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»), *В.В. Гусаров* (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН), *С.Ю, Котова, Е.В. Крушинов* (ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»), *Д.Б. Лопух* (ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) «ЛЭТИ»), *А.В. Лысенко* (ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»), *Л.П. Мезенцева* (ФГБУН «Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН»), *В.Б. Хабенский* (ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова») // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – № 3(9). – С. 50-70.

22. Экспериментальные исследования возможности эксплуатации паропроизводящих установок ЯЭУ транспортного типа при разгерметизации системы компенсации давления первого контура / *Д.И. Тригубов, А.Л. Дмитриев, И.Е. Батягин, Л.И. Спиридонова* // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: н-т сборник. – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2017. – № 3(9). – С. 71-74.

23. Цапко Ю.В. Возможности ионохроматографического метода в контроле технологических процессов на объектах энергетики / Цапко Ю.В. // Энергосбережение и водоподготовка, 2017 г., № 4 (108), С. 55-59.

В отчётном году подано две заявки на выдачу патентов на изобретения, одна заявка на выдачу патента на промышленный образец, одна заявка на выдачу патента на полезную модель, шесть заявок на государственную регистрацию программ для ЭВМ; получено три патента на изобретения, пять свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ и свидетельство о государственной регистрации товарного знака.

Подготовлены заявки на изобретения:

1. Способ калибровки счётного канала реактиметра / *Дашук С.П.*
2. 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.*

Подготовлена заявка на промышленный образец:

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.*

Подготовлена заявка на полезную модель:

Устройство для обнаружения в отпечатках пальцев следов подлежащих контролю веществ / *Буряков И.А., Буряков Т.И., Козлов Н.Н., Мацаев В.Т., Погибелев А.Е., Фильчяаков Ив. Ф., Фильчаков Ил. Ф.*

Подготовлены заявки на государственную регистрацию программ для ЭВМ:

1. RC_Model_Creator/ *Кузнецов А.Н.*
2. SCG5W / *Кузнецов А.Н.*
3. KORVIS / *Михеев П.А*
4. VISARH / *Михеев П.А*
5. ОСК: отображение и сравнение картограмм / *Михеев П.А.*
6. САПФИР_95&RC_РБМК / *Артёмов В.Г., Артёмова Л. М., Ельшин А.В., Иванов А.С., Карпов А.С., Пискарев А.В.*

Получены патенты на изобретения:

1. № 2618079. Композиционный фильтрующий материал для очистки водных сред / *Гусев Б.А., Алешин А.М.*
2. № 2622107. Способ контроля герметичности оболочек твэлов отработавших тепловыделяющих сборок транспортных ядерных энергетических установок /*Епимахов В.Н., Четвериков В.В., Ильин В.Г., Фоменков Р.В., Олейник М.С., Саранча О.Н., Корнев Ю.К.*
3. № 2634124. Способ контроля подкритичности бассейнов выдержки хранилища отработавшего ядерного топлива / *Артёмов В.Г., Зинатуллин Р.Э.*

Получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

1. № 2017662958. RC_Model_Creator / *Кузнецов А.Н.*
2. № 2017662976. SCG5W / *Кузнецов А.Н.*
3. № 2017662977. KORVIS / *Михеев П.А.*
4. № 2017662787. VISARH / *Михеев П.А*
5. № 2017662788. ОСК: отображение и сравнение картограмм/*Михеев П.А.*

Получено свидетельство

№ 603330. О государственной регистрации товарного знака «КРАТОС».

11.4 Конкурсы научных и инженерных работ

Лучшими научными работами за 2017 год признаны

I место (2 работы)

1. «Комплексное расчётное обоснование третьего этапа испытаний на стенде «Каскад».

   Авторы: Костров И.В., Погорелов В.С. (ОДИ), Артёмов В.Г. (ОНФИ), Волкова С.Н., Грицай А.С. (ОТФИ)

2. «Исследование выхода продуктов деления в технологические среды ЯЭУ» в процессе проведения испытаний, оценка герметичности оболочек твэлов и определение состояния активной зоны».

   Авторы: Фоменков Р.В., Орлёнков И.С., Костин М.М., Мысик С.Г., Нагишев В.А. (ОХТИ)

III место

«Стендовые испытания режимов работы ГЭУ, повышающих живучесть и скрытность АПЛ».

Авторы: Тригубов Д.И., Дмитриев А.Л., Батягин И.Е. (ОКЭЭР), Спиридонова Л.И. (ОДИ), Вакарин А.В. (ОТФИ)

Лучшими инженерными работами за 2017 год признаны:

I место

«Создание экспериментального стенда для отработки систем стабилизации водно-химического и газового режимов ЯЭУ».

Авторы: Щербаков Е.Е., Мельниченко А.Н., Яснев И.М. (ОХТИ), Маликов Т.Б., Черный О.Д., Самусь С.В., Потапкин М.О. (ОТФИ), Пискарев Д.А. (КО), Толстова В.Г. (ОМИ), Алексеенко С.А. (ОГМ)

II место

«Разработка расходомеров питательной воды для ЯЭУ».

Авторы: Беляков В.А., Шипилов А.В., Басов Ю.И., Волков А.Ю. (ОМИ), Демидов А.В., Орлов И.С., Ступак А.Н., Решетников Д.Г. (ОИКАР)

III место

«Разработка, изготовление, поставка, шефмонтаж и шеф-наладка системы управления системой оборотного водоснабжения комплекса переработки радиоактивных отходов Ленинградской АЭС».

Авторы: Алексеенко А.М., Ельшин М.А., Зарубин В.В., Зуйков А.В., Коршунов А.Ф., Макагон П.В., Попова Т.М., Репин В.А., Семенов А.И., Шинкаренко В.А. (ОДИ)

Стипендиаты Губернатора Ленинградской области

В категории «ведущие ученые» / *Цапко Ю.В.*

Исследование электромембранных процессов переработки токсичных отходов на объектах тепловой и атомной энергетики

В категории «молодые ученые» / *Орлов С.Н.*

Исследование распределения физико-химических форм существования радионуклидов йода в основном контуре ЯЭУ и поиск путей предотвращения их поступления в окружающую среду в аварийных ситуациях

Сосновоборский фестиваль науки 2017

В октябре 2017 года сотрудники отделения динамических исследований и отдела научно-технической информации института приняли участие в подготовке и проведении «Сосновоборского фестиваля науки», проводимого по инициативе администрации Сосновоборского городского округа.

В рамках проведения фестиваля участники и гости мероприятия прослушали лекцию главного научного сотрудника отделения динамических исследований ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», д.т.н. В.Н. Зимакова «Экспериментальные исследования транспортных ядерных энергетических установок на наземных стендах-прототипах», посетили выставку и ознакомились с работой созданного в институте функционального тренажёра плавучей атомной электростанции, познакомились с научно-техническими изданиями и материалами, издаваемыми институтом.

За участие в подготовке и проведении выставки сотрудники института В.Н. Зимаков, В.А. Корчагин, Ю.В. Крюков награждены Благодарностью Администрации Муниципального образования Сосновоборский городской округ.

СПРАВКА О ПОЛУЧЕНИИ ЛИЦЕНЗИИ НА ВЕДЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Федеральной службой по надзору в сфере образования и науки Федеральному государственному унитарному предприятию «Научно-исследовательский технологический институт имени А.П. Александрова» выдана лицензия №2668 от 26 октября 2017 г. на осуществление образовательной деятельности.

В соответствии с приложением №1.1 к указанной лицензии профессиональное образование может осуществляться в аспирантуре по следующим направлениям подготовки научно – педагогических кадров:

1. ***04.06.01 «Химические науки»;***
2. ***14.06.01 «Ядерная, тепловая и возобновляемая энергетика и сопутствующие технологии».***

Полученная лицензия даёт возможность открытия в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» заочной аспирантуры по указанным направлениям подготовки высшего образования для подготовки специалистов высшей квалификации из числа сотрудников института и сотрудников других организаций.

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, первый заместитель генерального директора – директор Дирекции по ЯОК И.М. Каменских, генеральный директор АО «НИКИЭТ» А.В. Каплиенко

Сотрудники отдела динамических исследований демонстрируют созданные в НИТИ полномасштабный и функциональный тренажёры для подготовки персонала универсального атомного ледокола проекта 22220

12. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ

12.1 Основные итоги деятельности института за 2017 год

12.2 Участие в общественной жизни предприятия

12.3 Поощрения, награды

12. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ

12.1 Основные итоги деятельности института за 2017 год

Основной деятельностью института, который является единственной в России экспериментальной базой по отработке на стендах-прототипах перспективных корабельных ЯЭУ, остается выполнение государственного заказа – **87 %** от общего объёма работ.

Экономическое состояние института в 2017 году оставалось стабильным. Признаков банкротства ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» не имеет. По итогам 2017 года прибыль до налогообложения составила **88,6 млн. руб.**

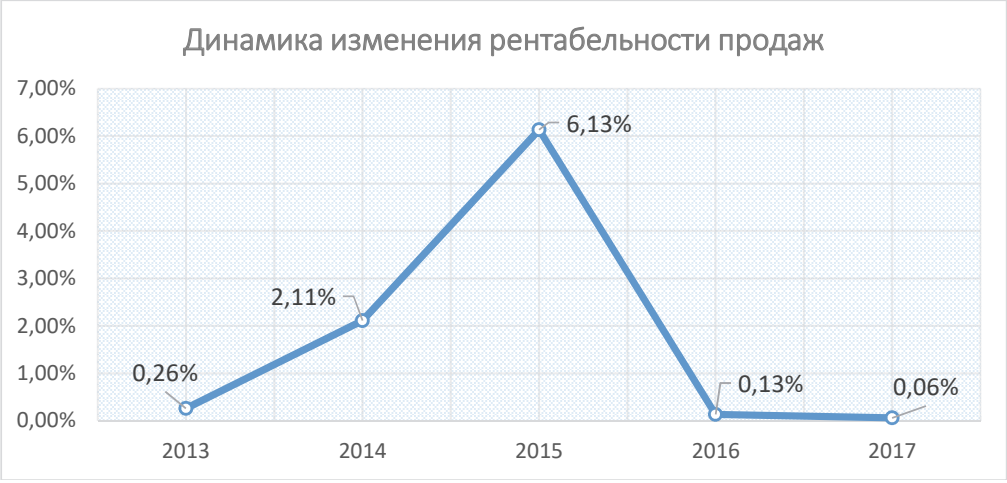
Выручка института за 2017 год составила **4 204,9 млн. руб.**

В 2017 году основным направлением деятельности института являлся выпуск ВиВТ – **89,4%** (в том числе для государственных нужд (государственный оборонный заказ), выпуск продукции АСУ ТП – **5,7 %**, иная прочая продукция, включая НИОКР в рамках «Системы и методы вычислений», «Системы безопасности» – **4,9 %**. Значительных структурных изменений в номенклатуре выпускаемой продукции в 2017 году не было.

План по выручке выполнен на **85 %**. Основные факторы невыполнения плана по выручке в 2017 году – отсутствие в 2017 финансирования из ФБ от Министерства обороны.

Изменение выручки и чистой прибыли за 2013–2017 г.г.

Показатель	2013	2014	2015	2016	2017
Выручка, тыс. руб.	2 552 386	4 951 866	4 800 625	4 157 947	4 204 885
Чистая прибыль, тыс. руб.	6 713	104 307	294 105	5 505	2 336



Основные факторы снижения чистой прибыли предприятия к показателям прошлого года – это перенос выручки по НИР для МО на 2018 год из-за отсутствия госконтракта.

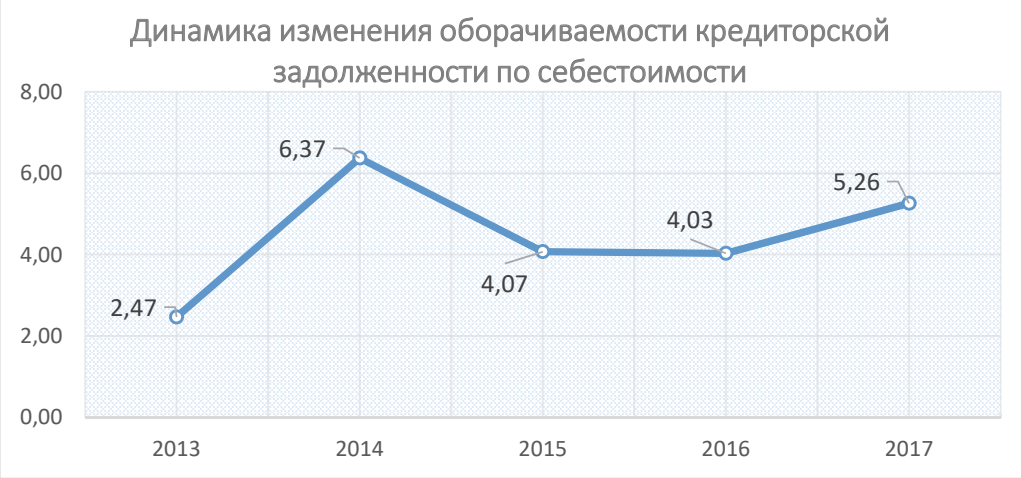
В 2017 году был увеличен Уставный капитал ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» на **776,5 млн. руб.** и на 01.01.2018 составил **4 739,2 млн. руб.**

В 2017 году снизилась дебиторская задолженность до **219 506 тыс. руб.**, в том числе:

Наименование	2013	2014	2015	2016	2017
Всего дебиторская задолженность	282 887	369 215	260 981	487 639	219 506
в т.ч.					
Долгосрочная дебиторская задолженность	8 318	9 547	26 965	54 027	41 869
Краткосрочная дебиторская задолженность, в т.ч.:	274 569	359 668	234 016	433 612	177 637
• *расчёты с покупателями и заказчиками*	70 503	165 320	68 312	137 012	89 479
• *авансы выданные*	149 906	173 623	27 130	60 746	9 204
• *прочие дебиторы*	54 160	20 725	136 966	141 469	13 121

Динамика изменения оборачиваемости дебиторской задолженности по выручке
18,00
16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
12,82
15,42
16,17
12,46
13,76
2013
2014
2015
2016
2017

Динамика изменения оборачиваемости запасов по себестоимости
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
6,85
12,3
23,29
19,06
7,95
2013
2014
2015
2016
2017


Динамика изменения оборачиваемости кредиторской задолженности по себестоимости
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
2,47
6,37
4,07
4,03
5,26
2013
2014
2015
2016
2017

Заработная плата и численность персонала

За 2017 год среднемесячная заработная плата составила **80 381 руб.** (в т.ч. ППП – 82 079 руб.).

В декабре 2017 года была проведена индексация заработной платы на **4 %**.

Среднесписочная численность на 01.01.2018 составила 2 314 человек, в т.ч. ППП – 2 215 человека.

Улучшение условий работы и охраны труда

В 2017 году на предприятии завершилась специальная оценка условий труда (СОУТ). Количество рабочих мест, прошедших СОУТ, составило 1 798. По результатам оценки у части сотрудников были пересмотрены условия труда.

В 2017 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 **5 921,43 тыс. руб.**

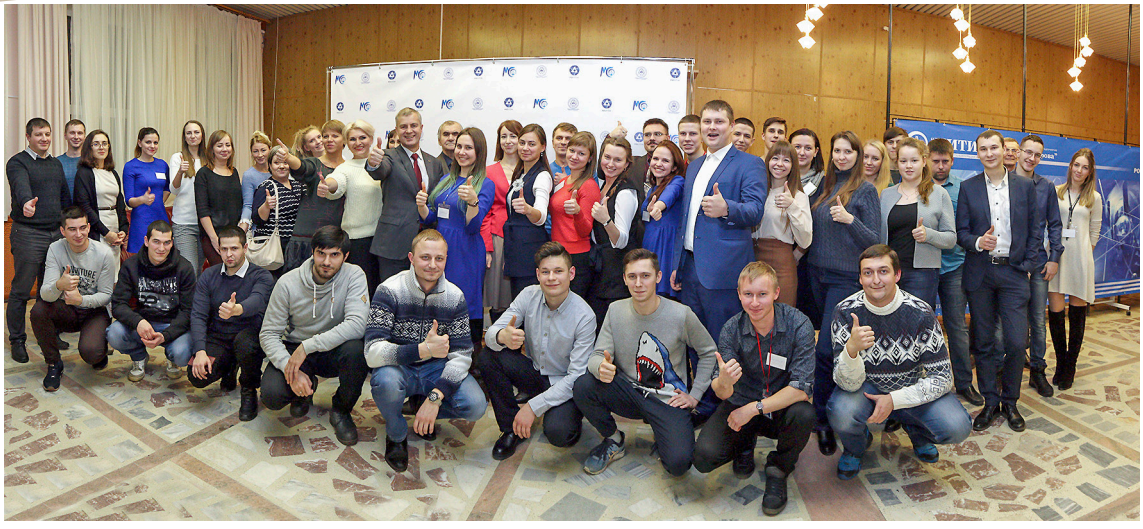
12.2 Участие в общественной жизни предприятия

Первомайская демонстрация трудового коллектива института «МИР-ТРУД-МАЙ 2017»

Чевствование ветеранов предприятия в День ПОБЕДЫ 9 мая 2017 года

Конкурс профессионального мастерства 2017

Праздник ПЕРВОГОДКИ–2017



IV НАУЧНО – ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
для старшеклассников города Сосновый Бор

«МОЛОДОЕ ПОКОЛЕНИЕ ОБ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ-2017»

ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» на базе КМС провёл IV научно-практическую конференцию для старшеклассников города Сосновый Бор.

В конференции с презентациями приняли участие 17 старшеклассников города, представляющих школы № 2, 5, 8, 9. Продемонстрировано 14 презентаций.

Организатор конференции: отдел обучения и развития НИТИ.

В рамках конференции проведен конкурс докладов, подготовленных участниками по тематике конференции.

Цели и задачи Конкурса:

- формирование у старшеклассников осознанного профессионального самоопределения по выбору будущей профессии;
- привлечение внимания учащихся к научным разработкам на современном этапе и непосредственное дискуссионное общение с учёными и сотрудниками научных подразделений НИТИ;
- развитие навыков самопрезентации;
- выявление и поощрение творческого потенциала учащихся;
- формирование у старшеклассников единого понимания о Росатоме.

В 2017 году была опробована новая система работы со школьниками в рамках подготовки к конференции – были назначены кураторы по школам из числа молодых научных сотрудников НИТИ, которые помогали, направляли старшеклассников и участвовали в жюри на конференции.

Состав конкурсной комиссии:

Председатель жюри – главный научный сотрудник отделения динамических исследований, д.т.н. В.Н. Зимаков.

Члены жюри:

- заместитель генерального директора по управлению персоналом Л.Б. Муцын;
- начальник отдела нейтронно-физических исследований, д.т.н. А.В. Ельшин;
- инженер-программист первой категории отдела теплофизических исследований М.О. Потапкин;
- научный сотрудник отдела теплофизических исследований А.Н. Кузнецов (куратор гимназии № 5);
- инженер отдела главного конструктора А.В. Павлюк (куратор школы 9);

– нженер третьей категории отдела динамических исследований А.И. Николаев (куратор лицея № 8);
– инженер второй категории отдела нейтронно-физических исследований Д.Ю. Бессонов (куратор школы 2);
– секретарь конкурсной комиссии – специалист по обучению и работе с молодёжью 1 категории отдела обучения и развития Е.Р. Сургучева.

Ведущий научно-практической конференции – начальник отдела нейтронно-физических исследований, д.т.н. А.В. Ельшин.

Победители конкурса презентаций:

I место – второй год подряд одерживают победу Половков Владислав и Котюргин Владислав, лицей № 8;

Тема презентации:
«Поезд на «магнитной подушке». Физические основы и примеры реализации».

II место – Кондратьева Екатерина, школа № 2.

Тема презентации: «Судьба закрытых АЭС».

В 2017 году присуждено два ***III места***:

– Щербина Олег, Климович Всеволод, лицей № 8;

Тема презентации: «Роботы в нашей жизни. Сферы применения и основные направления развития».

– Шаров Дмитрий, Копачинская Ксения, школа № 9.

Тема презентации: «Будущее за атомной энергетикой».

Приз «Симпатия жюри» вручён Ялоза Екатерине, школа № 5.

Тема презентации: «Будущее за гибридными ядерными реакторами».

Награждение победителей и участников конференции

Всем участникам конференции выданы Сертификаты участника, сувенирная продукция ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» и сладкие призы.

Победителям – дипломы и призы (настольные лампы и бейсболки с логотипом НИТИ), и приз «Симпатия жюри».

Для старшеклассников была организована экскурсия по КМС, состоялась встреча с председателем ППО С.Н. Шишкиным, был продемонстрирован фильм о жизни молодёжи в НИТИ.

Участники конференции и тематика представленных презентаций:

№	ФИО учащихся	Шк. №	Тема презентации	Итог
1	Беликов Иван	2	Термоядерная энергетика	
2	Кондратьева Екатерина	2	Судьба закрытых АЭС	**II место**
3	Маров Виталий	2	Излучение на АЭС	
4	Пожилов Александр	2	Безопасность АЭС	
5	Чешилова Виктория	2	Происхождение атомной энергетики в России	
6	Ялоза Екатерина	5	Будущее за гибридными ядерными реакторами	**Приз** Симпатия жюри
7	Сизов Данила	5	Электромобили и их применение в жизни	
8	Молодочкин Иван	5	Игрушки на основе гидроскопического эффекта	
9	Пестерникова Наталья	5	Фотоаппараты от прошлого к настоящему	
10	Смольянова Варвара	5	Роль ионизирующего излучения в медицине	
11	Щербина Олег	8	Роботы в нашей жизни. Сферы применения и основные направления развития	**III место**
12	Климович Всеволод			
13	Котюргин Владислав	8	Поезд на «магнитной подушке». Физические основы и примеры реализации	**I место**
14	Половков Владислав			
15	Гогулина Мария	9	Проблемы пресной воды. Причины их возникновения и пути устранения	
16	Шаров Дмитрий	9	Будущее за атомной энергетикой	**III место**
17	Копачинская Ксения			

К 55-летию института коллективом библиотеки подготовлена тематическая выставка «НИТИ им. А.П. Александрова 55 лет»

12.3 Поощрения, награды

Список сотрудников, награждённых в 2017 году

Орденом «За морские заслуги»

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Филин Рудольф Денисович	первый заместитель генерального директора института – заместитель генерального директора по научной работе	Руководство

Орденом «Дружбы»

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Черных Валерий Павлович	начальник отдела	ОДИ

Медалью «За заслуги в освоении атомной энергии»

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Горбуров Александр Петрович	ведущий инженер	ОДИ
Тригубов Дмитрий Игоревич	начальник отдела	ОКЭР

Удостоин звания «Заслуженный деятель науки Российской Федерации»

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Хабенский Владимир Бенцианович	главный научный сотрудник	ОИТА

Удостоин звания «Заслуженный работник атомной промышленности Российской Федерации»

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Щербаков Евгений Егорович	начальник лаборатории	ОХТИ

Нагрудным знаком «Академик А.П. Александров»

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Буткарев Андрей Викторович	заместитель генерального директора по безопасности	Руководство

Нагрудным знаком «Академик И.В. Курчатов» 4 степени

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Гудошников Андрей Николаевич	начальник лаборатории	ОТФИ
Щербина Борис Иванович	начальник группы	ОДИ

Нагрудным знаком «За вклад в развитие атомной отрасли» 1 степени

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Брусникин Александр Сергеевич	ведущий инженер /по управлению ядерной энергетической установкой/	ОИКАР
Иванов Никита Александрович	ведущий инженер /по управлению ядерной энергетической установкой /	ОИКАР
Пятаев Николай Владимирович	ведущий инженер /по управлению ядерной энергетической установкой /	ОИКАР

Нагрудным знаком «За заслуги перед атомной отраслью» 3 степени

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Гопалов Иван Андреевич	начальник группы	ОРБ
Грачев Виктор Иванович	начальник отдела	ОКЭЭР
Евдокимов Владимир Александрович	начальник службы безопасности	СБ
Кононов Виктор Анатольевич	главный инженер отделения	ОКЭЭР
Постернак Михаил Васильевич	главный инженер проекта	УКС
Селичев Вячеслав Олегович	главный инженер отдела	ОКЭЭР
Соколов Василий Юрьевич	заместитель начальника отделения по выводу из эксплуатации и модернизации стендов	ОКЭЭР

Почётной грамотой Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Акимов Анатолий Давыдович	начальник группы	ОКЭЭР
Амосова Ольга Анатольевна	инженер 1 категории	ОХТИ
Артемьев Александр Борисович	начальник отдела	ОСС
Бруснигин Денис Анатольевич	начальник отдела	ОКЭЭР
Гайко Виктор Борисович	начальник группы	ОХТИ
Головлева Татьяна Леонидовна	начальник ЖКО	ЖКО
Гудина Елена Витальевна	ведущий архивист /с возложением обязанностей руководителя группы/	ОФНТиУД
Зарубин Вадим Валентинович	начальник лаборатории	ОДИ

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Зинатуллин Рустем Эдуардович	старший научный сотрудник	ОНФИ
Колосов Сергей Юрьевич	ведущий инженер	ОКЭЭР
Корзун Тамара Константиновна	ведущий инженер	ООТиТБ
Костин Михаил Михайлович	начальник группы	ОХТИ
Политова Юлия Анатольевна	главный бухгалтер – начальник департамента бухгалтерского учёта	ДБУ
Румянцев Сергей Николаевич	научный сотрудник	ОТФИ
Сафонов Александр Васильевич	ведущий инженер	ОНЯРиПБ
Трифонов Олег Геннадьевич	ведущий инженер	ОКЭЭР
Чепилко Степан Сергеевич	научный сотрудник	ОТФИ
Чёрная Тамара Петровна	ведущий инженер	Руководство
Чертков Александр Александрович	заместитель начальника отдела	ОГК
Щипалкин Олег Николаевич	начальник отдела	ОУК
Янчук Виктор Кириллович	начальник группы	ОИКАР

Благодарностью генерального директора Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Ларионов Александр Владимирович	ведущий специалист руководства	Руководство
Капралов Евгений Иванович	начальник группы	ОКЭЭР
Зарубин Евгений Валентинович	начальник группы	ОДИ
Кандагура Елена Арсеньевна	инженер 1 категории	ОДИ
Корчагин Валерий Александрович	начальник лаборатории	ОДИ
Тепляков Дмитрий Борисович	начальник лаборатории	ОДИ
Прохоркин Сергей Владимирович	начальник группы	ОХТИ
Чистяков Иван Викторович	начальник лаборатории	ОХТИ
Шматко Галина Равильевна	инженер 1 категории	ОХТИ
Каряжа Виктор Иванович	начальник группы	ОМИ
Пискарев Александр Васильевич	старший научный сотрудник	ОНФИ
Чёрный Олег Дмитриевич	начальник группы	ОТФИ
Еремин Вячеслав Алексеевич	ведущий инженер	ОИКАР
Тихонов Владимир Георгиевич	начальник группы	ОИКАР
Барышников Андрей Сергеевич	ведущий инженер	ОНЯРиПБ
Ларина Лариса Евгеньевна	заместитель начальника отдела	ОБИАС
Хренов Алексей Владимирович	начальник участка	ОСС
Будкин Денис Юрьевич	начальник группы	ОИТ
Калинин Константин Игоревич	ведущий инженер	УЭС

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Рыжова Юлия Владимировна	экономист 1 категории	ОФ
Хомяков Евгений Дмитриевич	начальник группы	ГЭБиЗКТ
Багдасарян Константин Валерьевич	инженер 1 категории	УКС
Боброва Светлана Александровна	главный инженер проекта	УКС
Демин Сергей Александрович	ведущий инженер	УКС
Ждамиров Сергей Владимирович	ведущий инженер	УКС
Щипалкина Марина Николаевна	начальник группы	УКС
Волков Андрей Борисович	начальник столовой	Столовая

«Знаком отличия в труде «Ветеран НИТИ им. А.П. Александрова»

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Афанасьева Ольга Алексеевна	ведущий специалист	ОМТС
Батанин Владимир Станиславович	ведущий инженер	ОГК
Борисова Ольга Рудольфовна	начальник департамента	ДЭПиИ
Гибадуллин Талгат Ризванович	инженер 1 категории	ОКЭЭР
Гизатуллин Камиль Салимуллович	инженер 2 категории	ОКЭЭР
Двойников Игорь Алексеевич	ведущий инженер	ОНЯРиПБ
Девяткин Виталий Владимирович	слесарь-ремонтник	ОИКАР
Дедушкин Евгений Николаевич	электрослесарь по ремонту и обслуживанию автоматики и средств измерений	УЭС
Кадамов Марат Рифович	оператор экспериментальных стендов и установок	ОИКАР
Кириллов Александр Николаевич	начальник группы	ОИКАР
Козлова Наталия Николаевна	ведущий инженер	УКС
Королев Александр Владимирович	электромонтер по ремонту электрооборудования	ОКЭЭР
Кошалченков Александр Сергеевич	оператор котельной	УЭС
Лубинец Лев Викторович	начальник смены	ОИКАР
Маликов Тимофей Борисович	заведующий лабораторией	ОТФИ
Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Мельник Елена Александровна	инженер 3 категории	ОДИ
Мирошниченко Игорь Вадимович	начальник отдела	ОХТИ
Новиков Валерий Алексеевич	ведущий инженер	УКС
Орлова Светлана Викторовна	инженер-энергетик 2 категории	УЭС
Сабинин Александр Юрьевич	слесарь-ремонтник	ОИКАР
Сагайдак Валентина Трофимовна	уборщик производственных и служебных помещений	ОГМ
Чигарев Михаил Вячеславович	начальник участка	УЭС

Получили статус «Заслуженный пенсионер отраслевого значения»

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Аммосова Светлана Николаевна	инженер-программист 2 категории	ОДИ
Баранов Геннадий Дмитриевич	ведущий инженер	ОЧС
Безруков Валентин Павлович	ведущий инженер	ОНФИ
Беляков Александр Ефремович	ведущий инженер	ОМИ
Близнюк Валентина Григорьевна	инженер 1 категории	ОИТА
Блонова Надежда Ивановна	начальник отдела	ОТиЗ
Богусевич Валерий Михайлович	ведущий инженер	ОКЭЭР
Бондарева Фания Рашитовна	ведущий инженер-программист	ОИТ
Василевская Наталья Николаевна	бухгалтер 1 категории	ДБУ
Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Галичкин Николай Иванович	инженер 1 категории	УЭС
Голубев Алексей Ильич	слесарь-ремонтник	ОКЭЭР
Горляк Сергей Николаевич	инженер 1 категории	ОМИ
Грановская Надежда Павловна	помощник начальника департамента	ДЭПиИ
Грознов Юрий Александрович	ведущий инженер	ОНФИ
Давыдов Виктор Петрович	электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования	ОКЭЭР
Дойняк Петр Николаевич	водитель автомобиля	АО
Ерошенко Вера Николаевна	комендант	ХО
Жеребцов Геннадий Арсентьевич	инженер 1 категории	ОКЭЭР
Задорин Борис Федорович	ведущий инженер	ОКЭЭР
Захарова Любовь Борисовна	техник 1 категории	ОНФИ
Иванов Геннадий Иванович	начальник группы	ОМИ
Иванова Людмила Васильевна	заместитель начальника отдела-начальник группы стандартизации и обращения документации	КО
Капралова Наталия Константиновна	ведущий специалист	РСО
Карлов Виталий Владимирович	ведущий инженер	ОКЭЭР
Карташев Юрий Семенович	инженер 1 категории	ОКЭЭР
Кобякова Валентина Николаевна	бухгалтер 2 категории	ДБУ
Конарев Валерий Александрович	начальник отдела	ОЧС
Кононенко Валерий Федорович	слесарь-ремонтник	ОКЭЭР
Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Корнев Юрий Константинович	ведущий инженер	ОРБ
Крылов Николай Иванович	начальник группы	ОМИ
Кучинская Таисия Викторовна	начальник группы	КО

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Лукьянов Виктор Борисович	электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования	ОКЭЭР
Маркина Галина Ивановна	машинист компрессорных установок	УЭС
Панина Ольга Афанасьевна	электромонтер станционного оборудования телефонной связи	ОСС
Петров Дмитрий Владимирович	электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования	ОИКАР
Петрова Вера Александровна	техник 1 категории	РСО
Пищалин Олег Алексеевич	инженер 1 категории	ОМТС
Погребной Георгий Алексеевич	ведущий инженер	ОДИ
Ремнева Наталия Николаевна	слесарь по контрольно-измерительным приборам и автоматике	ОМИ
Сазонова Валентина Павловна	ведущий специалист	ОМТС
Самусь Ирина Петровна	ведущий инженер-конструктор	КО
Соловьева Галина Васильевна	инженер 1 категории	ОНФИ
Сусло Николай Степанович	инженер 2 категории	ОКЭЭР
Сырова Валентина Николаевна	оператор котельной	УЭС
Ющенко Николай Михайлович	машинист паровых турбин специального назначения	ОКЭЭР
Яликов Виктор Алексеевич	инженер 1 категории	ОМИ

Получили статус «Почётный пенсионер предприятия атомной отрасли»

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Ананьев Владимир Михайлович	инженер 1 категории	ОМТС
Астракова Светлана Алексеевна	начальник группы	ОИКАР
Брагин Николай Викторович	инженер 1 категории	ОКЭЭР
Ващенков Валерий Михайлович	лаборант физической лаборатории	ОНФИ
Изосимова Гульнур Галавитдиновна	экономист 1 категории	ДЭПИ
Карев Игорь Геннадиевич	слесарь-ремонтник	ОКЭЭР
Кинаш Петр Збигнеусович	инженер 1 категории	СНИЛ
Косякин Геннадий Николаевич	водитель автомобиля	АО
Малова Галина Георгиевна	рабочий зеленого хозяйства	ХО
Приходько Владимир Тихонович	инженер 1 категории	ОКЭЭР
Сергеев Александр Николаевич	электромонтер по ремонту электрооборудования	ОИКАР
Стребкова Елена Васильевна	кастелянша	ОКЭЭР
Филимонова Валентина Васильевна	машинист насосных установок	УЭС

Благодарностью губернатора Ленинградской области»

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Барцагова Ирина Георгиевна	начальник отдела	ОФ
Горошко Николай Иванович	начальник управления капитального строительства	УКС
Ельшин Александр Всеволодович	начальник отдела	ОНФИ
Иванов Александр Александрович	главный инженер института	Руководство
Куприков Петр Владимирович	начальник отдела	ОБИАС
Мигров Юрий Андреевич.	начальник отдела	ОТФИ
Муцын Леонид Богданович	заместитель генерального директора по управлению персоналом	Руководство
Повзун Олег Владимирович	начальник отдела	РСО
Шапошников Владимир Витальевич	главный инженер управления - главный энергетик института	УЭС

Внесенны в Книгу Славы города Сосновый Бор

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Мигров Юрий Андреевич	начальник отдела	ОТФИ
Хабенский Владимир Бенцианович	главный научный сотрудник	ОИТА

Почётной грамотой главы администрации Сосновоборского городского округа

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Воронин Юрий Михайлович	помощник генерального директора – начальник департамента правовой работы и имущественных отношений	Руководство
Дзигаленко Надежда Алексеевна	техник 1 категории	ХО
Колодкин Вячеслав Владимирович	ведущий инженер	ОДИ
Рассказов Виктор Васильевич	ведущий научный сотрудник /с возложением обязанностей руководителя группы /	ОНФИ
Романов Андрей Николаевич	водитель автомобиля	АО
Ставинов Алексей Феликсович	начальник отдела	КО
Хасанова Галия Маратовна	ведущий инженер-программист	ОГК

Благодарностью главы администрации Сосновоборского городского округа

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Алексеенко Сергей Алексеевич	начальник участка	ОРБ
Бабров Николай Евгеньевич	начальник группы	ООТиТБ
Буланов Владимир Николаевич	водитель автомобиля	АО
Васильев Сергей Васильевич	начальник группы	ОГК

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Карелин Сергей Петрович	начальник группы	ОИКАР
Лемешева Наталья Владимировна	техник 1 категории	ОИТА
Малова Галина Георгиевна	рабочий зеленого хозяйства	ХО
Милейко Василий Васильевич	главный инженер проекта	УКС
Потапкин Максим Олегович	инженер-программист 1 категории	ОТФИ
Шевченко Игорь Николаевич	начальник отдела	УКС

Почётной грамотой главы муниципального образования Сосновоборский городской округ

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Голубцов Аркадий Николаевич	начальник отдела	ООиР
Колосовская Елена Леонидовна	начальник группы	ДЭПиИ
Немирич Михаил Николаевич	начальник службы	ОИКАР
Прилуцкая Алеся Сергеевна	инженер	ОИТ
Пучкова Элина Иосифовна	старший кассир	ДБУ
Саберзянов Владимир Хасанович	начальник группы	ОИКАР
Степучев Рафаэль Алексеевич	ведущий инженер	СБ

Благодарностью главы муниципального образования Сосновоборский городской округ

Фамилия, имя, отчество	Должность	Отдел
Калиниченко Тамара Викторовна	ведущий специалист	ДЭПиИ
Кочетова Гузяль Салаватовна	специалист 2 категории	ОМТС
Нехаев Дмитрий Валерьевич	инженер-программист 1 категории	ОИТ
Подшибякин Сергей Викторович	Начальник отдела по внедрению и эксплуатации инженерно-технических средств физической защиты	СБ
Пухова Зоя Анатольевна	специалист	ОДО
Сергеева Любовь Юрьевна	ведущий экономист	ОТиЗ
Сокольников Александр Александрович	начальник группы	РСО
Сургучева Елена Рифовна	специалист по обучению и работе с молодежью 1 категории	ООиР
Фирсов Михаил Геннадьевич	ведущий специалист /по управлению имуществом/	ДПРиИО
Черникова Татьяна Николаевна	повар	Столовая

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 – тепло-технический 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